

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto  
Rakennetekniikan laitos  
Rakennusten korjaustekniikka

Ilkka Suikkari

## JULKISIVUKORJAUS EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄLLÄ

Diplomityö, joka on jätetty  
opinnäytteenä tarkistettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa  
31.7.1995

Työn valvoja:  
Apul. prof. Seppo Huovinen

Työn ohjaaja:  
DI Marja Kallio

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
RAKENNE- JA YHDYKUNTATEKNIIKAN  
LAITOSTEN KIRJASTO

**Tekijä ja työn nimi:**

Ilkka Suikkari

JULKISIVUKORJAUS EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄLLÄ

**Päivämäärä:** 31.7.1995**Sivumäärä:** 99 + 23**Osasto:**

Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto

**Professuuri:**

Rakennusten korjaustekniikka

**Koodi:** Rak-43**Työn valvoja:** Apul. prof. Seppo Huovinen**Työn ohjaaja:** DI Marja Kallio

Työssä tarkastellaan julkisivukorjausta EPS-ohutrappausjärjestelmällä, joka on vanhan rakenteen päälle tuleva lämmöneristeen sisältävä saumaton ilman tuuletusrakoa oleva rakenne. Järjestelmä muodostuu jäykästi alustaan liimalaastin ja mekaanisin kiinnikkein kiinnitetystä erikoiskäsitellystä solupolystyreenilevystä, jonka päällä on lasikuituverkolla vahvistettu ohut (5...8 mm) rapattu pintarakenne. Rappaus koostuu mineraalipohjaisesta hydrofobisesta laastista ja varsinainen pintakerros, paksuus 1.5...3 mm, keinohartsista. Rakenne soveltuu julkisivun kunnostamiseen ja lisäeristämiseen sekä uudisrakentamiseen erityisesti kiviainespohjaisille julkisivupinnoille, kuten tiili-, kalkkihiekkakivi-, kevytbetoni- ja betonipinnoille.

Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin julkisivurakenteiden, erityisesti betonirakenteiden vaurioitumista ja vaurioitumismekanismia. Karbonatisoitumista kuvaavan laskentamallin tuloksia verrattiin todellisista rakenteista mitattuihin arvoihin.

Julkisivun korjausmenetelmien ominaisuuksia ja kelpoisuutta vertailtiin lyhyesti. Korjausmenetelmien yksikköhintalaskelma suoritettiin esimerkkikohteen perusteella. Menetelmien arvonlisäveroton hinta vaihteli välillä 436...846 mk/m<sup>2</sup>.

EPS-ohutrappausjärjestelmän rakennusfysikaalista toimivuutta tutkittiin kirjallisuuskatsauksen ja diffuusion perustuvien vuositaselaskelmien perusteella. Sodankylän olosuhteissa järjestelmä on alkuperäistä rakennetta kuivattava ja rakenteeseen ei muodostu kosteuskeräytymää.

Rakenteen jännitysjakautumaa mallinnettiin kutistuma- ja termisistä rasituksista FEM-laskentaohjelmalla. Laskentamalleja oli kaksi, ensimmäinen ilman pohjarakennetta ja toinen betonielementin ulkokuoreen kiinnitettynä. Laskelmien mukaan järjestelmän käyttöä olosuhteissa, joissa lämpötila laskee toistuvasti -40 °C:een on syytä välttää ilman tutkittua ja mitattua tietoa materiaalien ominaisuuksien muuttumisesta alhaisissa lämpötiloissa.

Järjestelmän keskeisistä laatutekijöistä tehtiin POT-analyysin avulla laaturaportit työmaalla tapahtuvaa työn ohjausta ja seuranta varten

Työmenetelmiä ja materiaali- ja työmenekkejä seurattiin As. Oy Ulappasaarentie 4:n, Helsinki, päätyjulkisivujen korjauksessa Isoran-EPS-ohutrappausjärjestelmällä (Dispotharm System 600).



**Author and name of the thesis:**

Ilkka Suikkari

EXPANDED POLYSTYRENE INSULATION FACED WITH A THIN RENDERING-  
REPAIR SYSTEM OF FACADE**Date:** 31.7.1995**Number of pages:** 99 +23**Faculty:**

Civil engineering and Surveying

**Professorship:**Laboratory of Structural Engineering  
and Building Physics**Code:** Rak-43**Supervisor:** Associate Professor Seppo Huovinen**Instructor:** M. Sc. (Eng.) Marja Kallio

In this paper was studied repair system of facades with external thermal insulation.

The walls are generally made of masonry (bricks, blocks, stones, ...) or concrete and external thermal insulation composite system with thin organic rendering (5...8 mm) can be used on new or existing walls (retrofit). Repairing system consists of an insulation material, expanded polystyrene, bonded plus mechanically fixed onto the wall, faced with thin rendering consisting of two layers, one of which contains a reinforcement: special fittings to connect them to adjacent building structures (apertures, corners, parapets, etc...) and other external layer made of organic material generally synthetic resin.

The study of the development and the damages of the concrete element was based on research papers made on the issue. The calculation method of the carbonation are given in form for manual calculation. In situ and calculated qualities were compared.

Existing repair systems of external wall were studied on the basis of the structural solutions and the experiences obtained. The comparison of the costs of different methods was based on the unit costs of the example building. In addition to that, the required qualifications of the repair methods were pointed out.

Previous studies on the subject and experience of real structures in addition to building physical calculations made in this paper show that the competence of the system is acceptable.

Combined stress generated by loads such as temperatures and shrinkage were studied by Finite Element Method-calculation program. Low air temperatures of the magnitude of -40 °C can cause damages and use of system studied in such conditions should be avoided.

Quality certificates were made with POT-analyse for use in the building site.

Repairing of the facade with external thermal insulation composite system with thin organic rendering was followed in Helsinki as a part of this study. Consumption of materials was also measured.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Rakennustoimisto A. Puolimatkan Oy:n Korjausosastossa. Työn valvojana on toiminut apulaisprofessori Seppo Huovinen Helsingin Teknillisen Korkeakoulun rakennus- ja maanmittaustekniikan osaston rakenteiden korjaustekniikan oppituolista ja ohjaajana DI Marja Kallio CCM-Projektinjohtajat Oy:stä. Heille parhaat kiitokseni työni ohjaamisesta.

Diplomityöhön liittyvä seurantakohde oli As. Oy Ulappasaarentie 4, jonka työmaahenkilökuntaa kiitän yhteistyökyyvystä. Kiitokset myös DI Jouko Niemelle Optiplan Oy:stä avustamisesta FEM-laskennassa.

Lisäksi haluan kiittää korjausosaston henkilökuntaa ja kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat edesauttaneet työni valmistumista.

Helsingissä 31.7.1995



Ilkka Suikkari

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN KEHITYS	2
3. JULKISIVUN VAURIOT	6
3.1 Ettringiitti	6
3.2 Pakkasekestävyys	6
3.2.1 Huokosrakenteen vaikutus betonin pakkase-	
kestävyyteen	6
3.2.2 Vedelläkyllästysaste	8
3.3 Karbonatisoituminen	9
3.3.1 Karbonatisoitumisreaktio	9
3.4 Betonin materiaaliominaisuudet	10
3.4.1 Betonin tiiveys	10
3.4.2 Karbonatisoituvan aineksen määrä	10
3.4.3 Betonin jälkihoito	10
3.4.4 Betonin kosteus	11
3.5 Karbonatisoitumista kuvaavat mallit	12
3.6 Terästen korroosio	14
3.7 Betoniulkokuoren halkeilu ja käyristyminen	15
3.8 Pintakäsittelyn vauriot	17
3.9 Saumojen ja liitosdetaljien vauriot	17
3.10 Julkisivuun liittyvien rakenteiden vauriot	18
3.11 Julkisivumateriaalien tyypilliset vauriot	18
3.11.1 Betoni	18
3.11.2 Tiili	19
3.11.3 Kevytbetoni	19
3.12 Esimerkkikohteiden vauriot	19
3.12.1 Vaurioiden laajuus	19
3.13 Vauriomekanismien laskentatulosten ja vaurioiden välinen	
korrelaatio	19
4. JULKISIVUNKORJAUSMENETELMIÄ	21
4.1 Julkisivulevyt	21
4.2 Metallilevyt ja -kasetit	22
4.3 Elementtirakenteiset julkisivunkorjausmenetelmät	23
4.4 Eristerappaus	24
4.5 Alkalointi	26
4.5.1 Passiivinen alkalointi	26
4.5.2 Sähkökemiallinen uudelleenalkalointi	27
4.6 Tiiliverhous	28
4.7 Kustannukset	30



5. LISÄLÄMMÖNERISTÄMISEN VAIKUTUS RAKENTEEN RAKENNUSFYSIKAA- LISEEN TOIMINTAAN	31
5.1 Lisälämmöneristämisen kannattavuus	31
5.2 EPS-järjestelmän kosteudenpoistokyky	33
5.3 EPS-ohutrappausjärjestelmän rakennusfysikaalinen kelpoisuus	44
5.4 Lisäeristämisen vaikutus rakenteen vaurioihin	44
6. EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄ	48
6.1 Rakenne	48
6.2 Paloturvallisuus	48
6.3 Lämmöneriste	49
6.4 Kiinnitys	52
6.5 Kiinnityslaasti	54
6.6 Pakkasenkestävyys	55
6.7 Iskunkestävyys	55
6.8 Verkkolaastikerros	56
6.9 Pintarakenne	56
6.10 Liikuntasaumamat	57
6.11 Sokkeli- ja kulmalistat	57
6.12 Muut osat	57
6.13 Rakenteen rakenneyksityiskohtia	57
6.14 Pitkäaikaiskestävyys	59
6.14.1 Yleisimmät vauriot	59
6.14.2 Pakkovoimat	60
6.14.3 Halkeilu	64
6.14.4 Halkeamien korjaus	66
6.15 Rakenteen huolto	66
6.16 Pinnan jännitys jakauma	67
6.17 Jännitykset rappauksen kutistumasta	68
6.18 Jännitykset lämpötilanvaihteluista	68
7. FEM-LASKENTA	71
7.2 Rakenteen jännitys jakauma	72
7.2.1 Kuormitustapaus 1	72
7.2.2 Kuormitustapaus 2	72
7.3 Laskentatulosten analysointi	73
7.4 EPS-ohutrappausjärjestelmän sopivuus betonisandwich-elementti- rakenteeseen julkisivuun	75
8. EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS JA ASENNUS TEKNIikka	78
8.1 Valmistelevat työt ja alustan esikäsittely	78
8.2 Sokkelistan asennus	78
8.3 Eristelevyn asennus	79
8.4 Eristelevyn mekaaninen kiinnitys	81
8.5 Kulmasuojien asennus	81
8.6 Verkkolaastin levitys ja vahvisteverkon asennus	82
8.7 Ohutrappaus	83

8.8 Pintamaalaus	83
8.9 Julkisivuun liittyvien rakenteiden kiinnitys	84
8.10 Liikuntasaumat	84
9. TUOTANNONSUUNNITTELU	85
9.1 Työjärjestys	85
9.2 Aikataulu	85
9.2.1 Häiriöt	86
9.2.2 Rakennusaikataulun kireys	87
9.2.3 Tuotannonarvolaskelmat	87
9.2.4 Tuotannon arvo	87
9.3 Palautetietojen kerääminen	88
9.4 Laatutekijät ja laadunvarmistus	88
9.5 Työkokonaisuuden laadunvarmistus	91
10. TYÖN SEURANTA	92
10.1 Seurantakohteet	92
10.2 Seurantatulokset	93
10.3 Seurantatulosten analysointi	94
10.4 Korjauskustannukset	95
11. PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO	96
LÄHDELUETTELO	
LIITTEET	

## 1. JOHDANTO

Rakentamisen laatu on noussut esille erityisesti betonielementtikerrostalojen julkisivuvaurioiden myötä. Julkisivujen käyttöikä on jäänyt odotettua lyhyemmäksi, rakenteen käyttöikä on päättynyt rakenteen vaurioitumiseen, kuormituksen lisääntymiseen tai rakennesysteemin muuttumiseen.

Tämä rakenteiden korjaustekniikan diplomityö tarkastelee julkisivun ns. täydellistä korjausmenetelmää, jossa vanha julkisivukuori jätetään paikalleen ja uusi rakenne asennetaan vanhan päälle. Ulkokuoren poisto ja uuden asennus sekä julkisivun osakorjaukset on jätetty työn ulkopuolelle.

Työssä on selvitetty yleisiä julkisivumateriaalien, erityisesti betonielementtien vaurioitumismekanismeja, tapoja ja syitä. Laskentamallien perusteella saatuja betonin vaurioitumissyvyyyksiä verrataan todellisista rakenteista mitattuihin arvoihin.

Julkisivukorjausmenetelmien yleisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta on selvitetty lyhyesti. Menetelmiä vertaillaan korjauskustannusten kannalta laskemalla esimerkkikohteen julkisivukorjauksen yksikkökustannukset eri korjausmenetelmillä. Huomio on keskitetty julkisivukorjaukseen EPS-ohutrappausjärjestelmällä.

EPS-ohutrappausjärjestelmän rakennusfysikaalista kelpoisuutta ja soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin on selvitetty laskennallisesti ja saatuja arvoja verrattu VTT:n Rakennusfysiikan laboratorion saamiin arvoihin. Lisäksi rakenteen materiaalikerrosten jännitysjaumia on mallinnettu erilaisilla materiaaleilla ja laskentamalleilla vaihtelevilla kuormituksilla.

Järjestelmän vaurioalttiutta, kestävyyttä ja käyttökokemuksia ja tutkimustuloksia on selvitetty kirjallisuuskatsauksella. Työn pääpaino on järjestelmän toteutukseen vaikuttavien asioiden tutkimisessa ja selvityksessä. Työhön liittyy seurantakohte, jossa työnseurannalla saadaan materiaali- ja työmenekit. Työn valvontaan ja ohjaukseen on kehitetty laaturaportteja, joihin on kerätty mm. POT-analyysin avulla keskeisiä työn laatuun vaikuttavia tekijöitä.

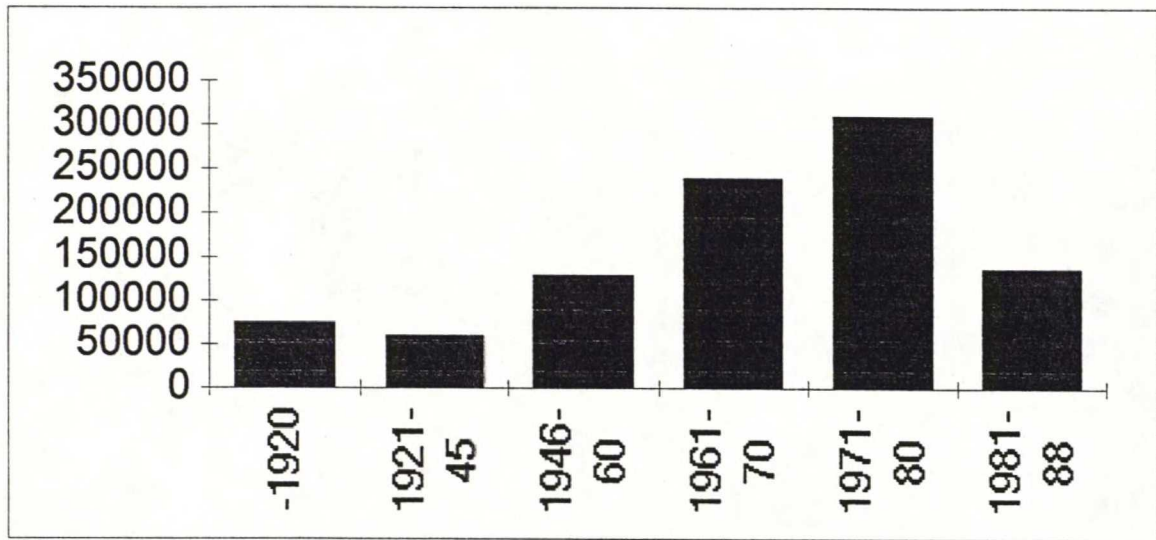
Työn tavoitteena on EPS-ohutrappausjärjestelmän toteutukseen ja suunnitteluun vaikuttavien keskeisten tekijöiden kartoittamien ja kehittäminen. Tällä tavoin korjausmenetelmän laatutekijät on kerätty yhteen.



## 2. BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN KEHITYS

Suomen asuntopolitiikalle on koko sodan jälkeisen ajan ollut tyypillistä asuintilan ensisijaisen tarpeen tyydyttäminen. Asuntorakentamiseen kohdistuneet tavoitteet ovat olleet määrällisiä ja asumisen laatuun kohdistuneet tavoitteet ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Pääpaino on kohdistunut talous- ja tuotantoteknisille seikoille 1960-luvulta lähtien. Lisäksi 1970-luvulla asunto-markkinat ns. ylikuumenivat ja rakennusliikkeillä ei ollut tarvetta käyttää laatua kilpailukeinona.

Käytettyjen materiaalien, lähinnä betonin, ominaisuudet ja kestävyys, eivät vastanneet Suomen ilmastoon asettamia vaatimuksia. Viranomaiset ja lainsäädäntö asettivat kuitenkin lisääntyviä teknisiä vaatimuksia, jotka nykytietämyksen perusteella eivät kuitenkaan olleet riittäviä. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena Suomessa on asuintalokantaa, joka vaatii perusparantamista ja rakenteiden korjaamista nykyajan vaatimuksia vastaavaksi. Kuvassa 2.1 ja 2.2 on esitetty kerrostaloasuntojen ikäjakauma ja kuvassa 2.3 korjausrakentamisen volyymi-indeksi.

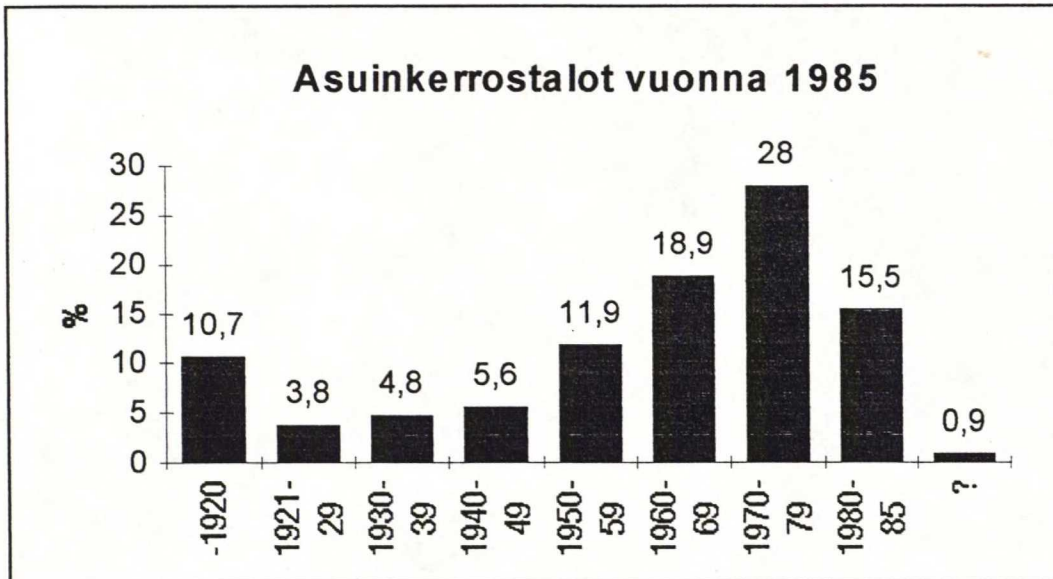


Kuva 2.1 Kerrostalojen ikäjakauma. 1960- ja 1970-luvuilla rakennettiin yhteensä noin 530 000 kerrostaloasuntoa. Tätä vanhempia kerrostaloasuntoja on noin 260 000 kpl /13/

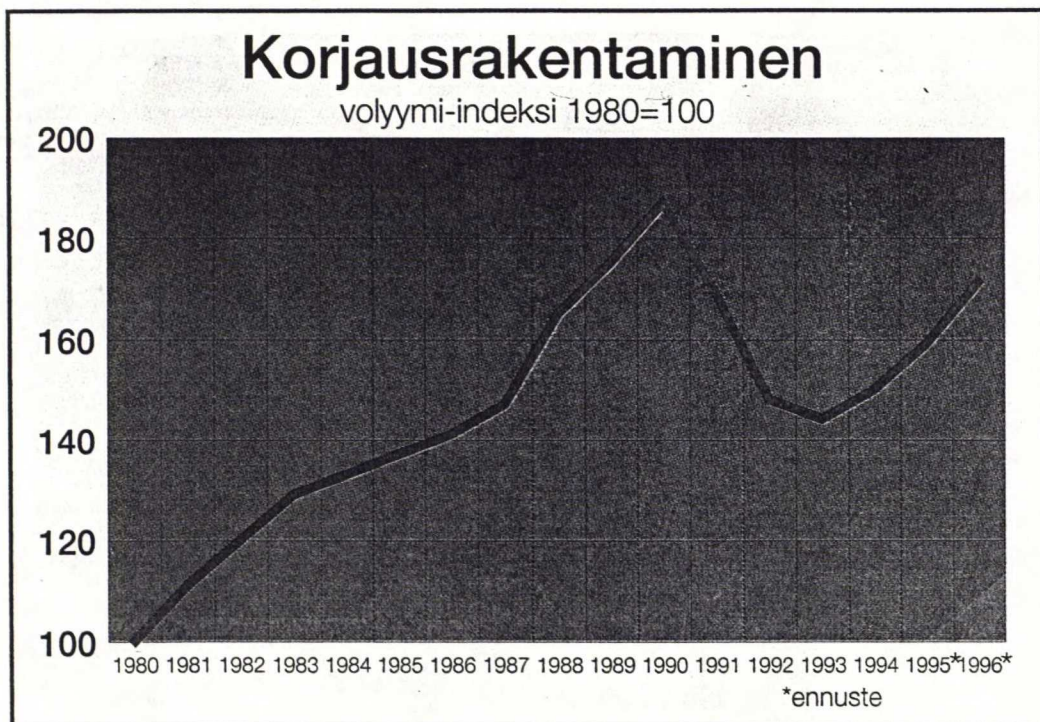
Vuosina 1967...1979 rakennettujen betonielementtijulkisivujen kokonaispinta-ala on 10 milj. m<sup>2</sup>. Betonipohjaisia julkisivuja on Suomessa rakennettu yhteensä noin 38 milj. m<sup>2</sup>. Betonielementtien pintoina on käytetty värjäämätöntä ja maalattua betonia, pesubetonia, kalkkihiiekkakivilaattaa, tiililaattaa, täystiiltä ja klinkkerilaattaa. Kuva 2.4 havainnollistaa materiaalien käyttöä.

Pesubetonipintaisen elementin ulkopintaan on valettu erityinen rouhekerros, joka on pesty hidastimen avulla. Elementin ulkopinta on valettu ulkonäkösyistä muottia vasten yleensä kahdella eri massalla, ensin varsinainen rouhekerros ja sen jälkeen taustabetoni. Rouheena on käytetty murskattua ja luonnonkiveä. Luonnonkivessä ongelmana oli kiven sileä pinta, joka heikensi tartuntaa sekä alkuun käytetty 25 mm raekoko, jolla rouhebetonin suhteutus ei onnistunut. Raekokoa pienennettiin 16 mm:iin 60- ja 70-lukujen vaihteessa.

Rauditus asennettiin ensin valetun rouhekerroksen päälle, jolloin rajakohtaan on saattanut muodostua työsauma ja raudituksen sijainti on jäänyt epämääräiseksi. Pesubetonipintaiselle elementille ovat tyypillisiä raudoitusten sijainnin ja kuorien paksuuksien vaihtelut sekä puutteet vesitiiviyydessä ja jälkihoidossa.



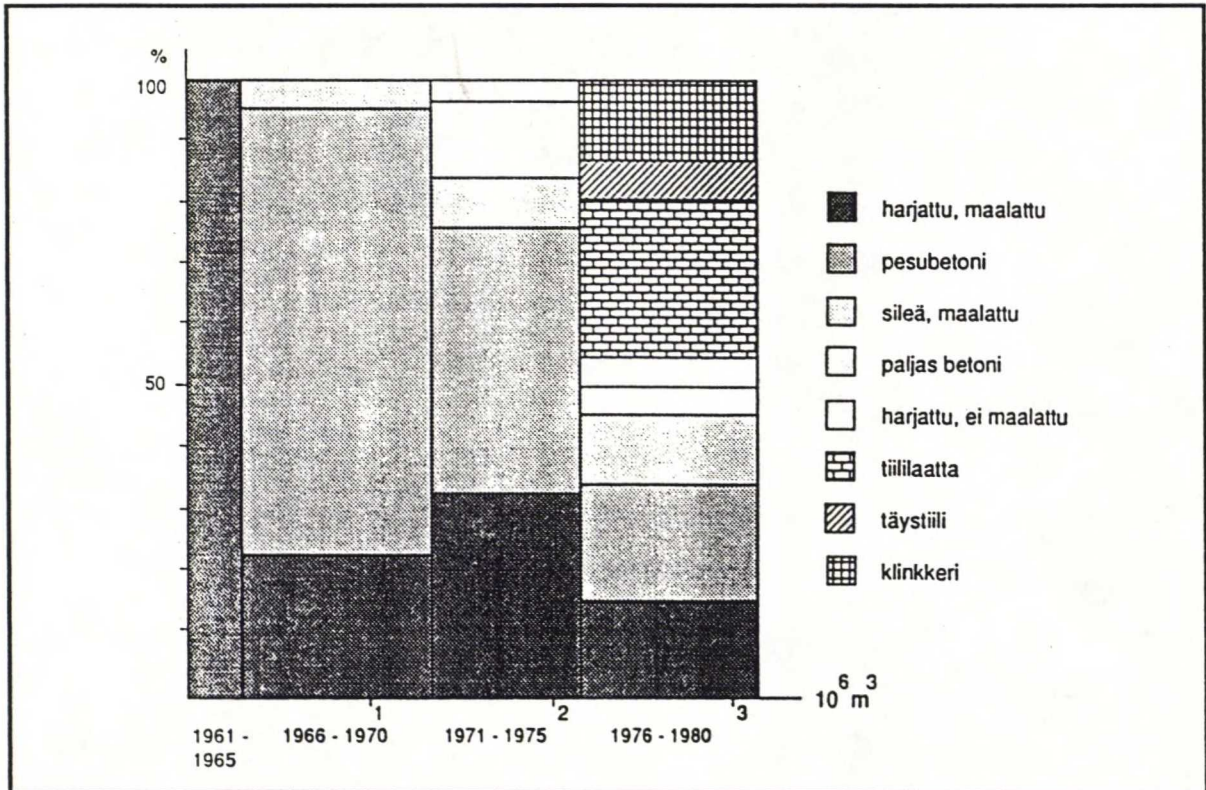
Kuva 2.2 Asuinkerrostalojen ikäjakauma vuonna 1985 /46/



Kuva 2.3 Korjausrakentamisen määrä verrattuna vuoteen 1980 /36/

Maalatuissa betonipintaisissa elementeissä on käytetty joko harjattua tai sileää pintaa, joista harjattu pinta on yleisempi. Pintakäsittelytapa vaikuttaa elementin kestävyys- ja työtavasta johtuen. Harjattu pinta on tehty muotissa aina ylöspäin, sileäpintainen taas useimmin ulkopinta muottia vasten. Muottia vasten valettaessa kuoren lujuus ja tiiviys saadaan paremmaksi, mutta raudoitteet painuvat helposti muottipintaa vasten ellei raudoituskorokkeita käytetä. Toisaalta valettaessa ulkokuori ylöspäin raudoitteet painuvat lähelle lämmöneristekerrosta ja kuoren pak-suusvaihtelut tulevat suuremmiksi.





Kuva 2.4 Julkisivujen pintamateriaalit 1960- ja 1970 luvuilla 5-vuotiskausittain /13/

Klinkkerilaatan käyttö yleistyi julkisivumateriaalina asuntotuotannossa 1970-luvun lopulla. Tiili- tai tiililaattapintaiset betonielementit yleistyivät 1970-luvun puolivälin jälkeen. Tiililaattoina on käytetty poltettua tiiltä, joko reiällistä (35 mm paksua) tai reiätöntä (20-25 mm paksua). Ulkokuori on valettu muottia vasten sijoittamalla tiilet tai tiililaatat muottiin tehtyihin rastereihin. Tiilien väliset saumat on valettu erillisellä saumauslaastilla ja rauditus on asennettu tiililaattojen päälle ja varsinainen valu on tehty tämän jälkeen. Tiililaatat ovat pitäneet betonin pinnan valun jälkeen pitempään kosteana ja imeneet betonista alkuvaiheen liiallisen veden pois, jolloin betonin ominaisuudet ovat parantuneet.

Elementtituotanto siirtyi 1960-luvun alussa työmailta tehtäisiin. Elementtityypit voidaan jakaa rakennetyypin perusteella kuori- ja sandwich-elementteihin. Kuorielementtejä käytettiin 50- ja 60-luvun alussa pääosin nauhajulkisivujen elementteinä. Sandwich-elementtejä kokeiltiin Suomessa ulkoseinärakenteena ensimmäisen kerran 1957 ja käyttö yleistyi 1960-luvun puolivälissä kerroskorkeutta matalampina eli nauhaelementteinä ja kerroksen korkuisina eli ruutuelementteinä. Rakenteellisesti nauhaelementit ovat ei-kantavia ja ruutuelementit joko kantavia tai ei-kantavia. Elementin sisäkuori oli ei-kantavissa elementeissä 70...100 mm ja kantavissa 150...160 mm. Ulkokuoren paksuus oli 40...60 mm.ä. Kantamattomat elementit ripustettiin laattoihin, palkkeihin, pilareihin tai kantaviin väliseiniin /37/.

Betonin käyttö lisääntyi huomattavasti 1950-luvun kerrostalojen rakenteissa ja betoniseinärungosta tuli 50-luvun puolivälin jälkeen vallitseva runkotyyppi. Betonin tehokkaan käytön mahdollisti suurmuottitekniikan kehittyminen ja 50-60 luvun vaihteen betonisandwich-seinärakenteen käyttöönotto. Ulkoseinien pintamateriaaleista on kuitenkin yleisin rappaus 1940- ja 50-luvulla. Puhtaaksimuuratujen pintojen lisäksi julkisivuissa käytettiin 1950-luvulla puuverhousa sekä asbestisementti- ja alumiinilevyjä /37/.



Yleisin lämmöneristepaksuus 1960-luvulla oli 80 mm ja 1970-luvun alkupuoliskolla 90 mm. 1964 markkinoille tuli sandwich-elementteihin soveltuvia lämmöneristeitä valussa kasaan painuvien eristeiden tilalle. Samana vuonna alkoi kevytbetonisten suurelementtien valmistus Suomessa.

Nauhaelementit kannatettiin kerroksittain rungosta ruutuelementtien ollessa usein itsekantavia. Elementtien paksuus 1960-luvuilla oli 250 mm ja 70-luvulla yleisesti 300 mm. Kevytbetoni oli betonisandwich-elementtiä yli puolet kevyempi. Vuoden 1974 uudet lämmöneristevaatimukset lopettivat massiivisten kevytbetonielementtien käytön asuinkerrostaloissa, jolloin julkisivun k-arvovaatimukseksi tuli  $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kevytbetoni-julkisivujen k-arvon ollessa 1960-luvulla keskimäärin  $0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Eristysvaatimus kiristyi 1985 ja k-arvo vaatimukseksi tuli  $0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Eristyspaksuudet kasvoivat vaatimusten seurauksena 1970-luvulla 120 mm:iin ja vuonna 1985 140 mm:iin /37/.

Ennen vuotta 1954 betonin lujuuden sijasta vaadittiin vähimmäissegmenttimääriä. Lujuusvaatimukset tulivat 1954 ja julkisivurakenteilta vaadittiin K20 lujuutta aina vuoteen 1965 saakka, jolloin vaatimus muuttui K25:ksi, 1989 K30:ksi ja 1992 K45:ksi. Betonin materiaaliominaisuudet paranivat tärytysmenetelmien kehittyessä 1960-luvulla, jolloin muottitärytys tuli sauvatärytimen rinnalle. Veden käyttöä voitiin näin vähentää ja betonin huokoisuus pieneni jäykempien massojen myötä. Pakkasenkestävyyden edellyttämät suojahuokostussuhdesuosituksot tulivat vuonna 1976. Tätä ennen lisähuokoistusta on käytetty vähäisessä määrin lähinnä betonin työstettyvyysominaisuuksien parantamiseksi.

Vaatimukset pakkasenkestävyydelle ja vedenpitävyydelle tulivat vuonna 1980. Suojahuokossuhdevaatimus vuosina 1980-1992 oli 0.2 ja vuodesta 1992 0.17.

Teräksiä suojaavan betonipeitteen paksuusvaatimus julkisivurakenteissa on vuodesta 1977 ollut 25 mm ja tätä ennen 20 mm harjateräksille, sileälle pyöröteräkselle vaatimukset ovat olleet alhaisemmat. Vuonna 1965 ansaiden diagonaaliosissa siirryttiin käyttämään ruostumattomia teräksiä.

Raudoitteiden asennustarkkuus on ollut heikko, joten raudoitteiden suojakerroksen paksuus on saattanut jäädä vain muutamaan millimetriin. Elementtien valmistuksessa tapahtuneet virheet ja viranomaismääräysten ja normien ja yleisen tiedon puuttuminen betonielementtien pitkäaikaiskestävyydestä ovat johtaneet siihen, että betonijulkisivujen käyttöikä on osoittautunut monissa tapauksissa odotettua lyhyemmäksi /10,15/.



### 3. JULKISIVUN VAURIOT

Rakenteiden vauriot ovat seurausta suunnittelu-, työ-, käyttö-, tai materiaalivaurioista. Materiaalina betonin säilyvyysongelmat voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin; kemialliseen korroosioon, fysikaaliseen rapautumiseen ja betoniterästen korroosioon. Betonin korroosiossa kemialliset tai kemiallisfysikaaliset reaktiot vaurioittavat betonin.

Sisäistä korroosiota voi tapahtua betonin runkoaineen sisältäessä piihappoa, sulfideja, sulfaatteja tai humusta. Ilmiö on Suomessa hyvin harvinainen ja olosuhteissamme tulee kysymykseen lähinnä ulkoinen korroosio, jossa betoni turmeltuu ympäristön ns. betoniagressiivisten aineiden kanssa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden seurauksena /19/.

#### 3.1 ETTRINGIITTI

Sementin hydrataatiossa klinkkerimineraalit reagoivat kemiallisesti veden kanssa. Reaktiossa syntyy morfologisesti erityyppisiä kiinteitä yhdisteitä, jotka muodostavat sementtigelin. Sementin aineosista kipsin reagoimattomassa osassa trikalsiumalumiinat (  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ) ja veden kanssa muodostuu  $\text{C}_3\text{A}$ - rakeiden pinnalle ettringiittiä, mikä estää  $\text{C}_3\text{A}$ :n liian nopean reaktion veden kanssa. Hallitun hydrataatioprosessin kannalta ettringiitti on välttämätön tuote ja hydrataation alkuvaiheessa plastisessa tilassa olevalle betonille ettringiitin syntyminen on vaaratonta.

Hydrataatioprosessin häiriöiden seurauksena ettringiittiä eli kalsiumsulfoaluminaattia muodostuu reagoimattoman sulfaatin, veden ja monosulfaatin reaktionä  $+ 25...+80\text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Kriittinen raja on  $75\text{ }^\circ\text{C}$  saksalaistutkimuksen mukaan. Rakenteen lämpötilan nousu on seurausta kohonneesta hydrataatiolämmöstä tai liiallisesta lämpökäsittelystä /4/. Ettringiitin tilavuuden ollessa 300 kertaa lähtöainetta suurempi, pakkasenkestävyydelle tärkeät suojahuokostilat täyttyvät vähitellen ettringiitistä ja rakenteen sisäiset jännitykset kasvavat. Paisuminen aiheutuu rakenteen lujuutta ja säilyvyyttä heikentäviä halkeamia ja vaurioita.

Betonin fysikaalista rapautumista voi aiheuttaa pakkasrasitus eli jäätymis-sulamisilmiöt, mekaaninen kulutus eli abraasio, kuormitusten ja muodonmuutosten aiheuttama halkeilu ja terästen korroosion aiheuttama sisäinen paine.

#### 3.2 PAKKASENKESTÄVYYS

Betonin pakkasenkestävyydellä tarkoitetaan betonin kykyä vaurioitumatta kestää toistuvaa jäätymistä ja sulamista. Betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä ovat huokosrakenne ja huokosissa oleva veden määrä eli vedelläkyllästysaste. Muita tekijöitä ovat mm. betonin vedenpitävyys, vedenimukyky eli betonin tiiviys ja lujuusominaisuudet sekä ulkoiset olosuhteet, joiden alaisena rakenne joutuu olemaan eli betonin kostumis- ja kuivumismahdollisuudet, lämpötilan vaihtelujen nopeus ja suuruus sekä jäätymisvaiheiden tiheys ja lukumäärä vuosittain.

##### 3.2.1 HUOKOSRAKENTEEN VAIKUTUS BETONIN PAKKASENKESTÄVYYTEEN

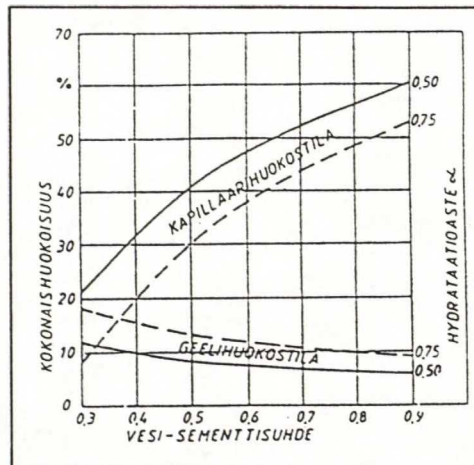
Kovettuneen betonin huokoisuus vaihtelee välillä 12...18 prosenttia. Huokostilavuuden sisältämästä vedestä suurin osa kykenee jäätymään. Geelihuokosissa oleva vesi ei jäädy normaaleissa ulko-olosuhteissa huokosten pieniuudesta johtuen, huokosten läpimitan ollessa noin 0,1...5 nm.

Geeli- ja kemiallisesti sitoutuneen veden lisäksi betonissa on hydrataation jatkumiselle välttämättömyyksiä ns. vapaata kapillaarivettä. Hydrataation etenemistä edesauttava korkea vesi-



sementtisuhde muodostaa betoniin suuren kapillaarihuokoisuuden, jossa huokosten läpimitta on 5 nm - 5  $\mu$ m.

Kapillaarihuokoisuutta voidaan säädellä veden ja sementin suhteella. Kapillaarihuokosia syntyy teoriassa vesisementtisuhteen ollessa suurempi kuin 0.39, jolloin sementtiliimassa on hydrataatio-ossa sitoutumatonta ylimääräistä vettä. Vesi-sementtisuhteen arvon ylittäessä 0.60...0.65 kapillaarihuokosverkostosta muodostuu yhtenäinen, jolloin betonin läpäisevyys kasvaa, lujuus ja säilyvyys sekä pakkasenkestävyys heikkenevät, sillä kapillaarihuokosissa oleva tai niihin tunkeutuva vesi voi jäättyä. Suurten kapillaarihuokosten määrän lisääntyessä ja kokonaishuokoisuuden pysyessä samana betonin keskimääräinen jäätymispiste kasvaa ja pakkasrasitus lisääntyy.



Kuva 3.1 Kapillaarihuokoisuuden riippuvuus vesi-sementtisuhteesta ja hydrataatioasteesta. Vesisementti suhteen alentaminen tiivistää betonia, jolloin sen vedenimukyky ja -nopeus pienenevät.

Sementtikiven huokosrakenteen muodostumiseen varsinkin rakenteen pinnassa vaikuttaa jälkihoito. Nopeasti kuivuvassa pinnassa hydrataatioaste jää alhaiseksi ja kapillaarihuokosten määrä suureksi. Esimerkiksi 80 % ilman suhteellisessa kosteudessa hydrataationopeus on vain noin 10 % vedellä kyllästetyn betonin hydrataationopeudesta /33/.

Yhdessä betonirakenteen hitaan kuivumisen ja betonin pienen huokoskoon ja siitä johtuvan korkean hygroskooppisen tasapainokosteuden kanssa Suomen sääolosuhteissa sateille alttiit rakenteet ovat kosteita pitkiä aikoja, julkisivurakenteilla kosteuspitoisuus on suurimmallaan talvikautena.

Diffuusion ja konvektion ulkoseiniä kostuttava vaikutus on pieni verrattuna viistosateeseen. Viistosateen määrä riippuu tuulen nopeudesta, pisaroiden putoamisnopeudesta ja pystysuoran sateen intensiteetistä. Vuositasolla vapaan viistosateen määrä on noin 20...30 % pystysuoran sateen määrästä eli noin 100...200 mm/a. Seinälle osuva viistosademäärä on vapaan viistosateen määrää pienempi /5,33/.

Tuulen puhaltaessa syksyllä pääasiassa etelästä tai lounaasta altistuvat näihin ilmansuuntiin avautuvat julkisivut suurimmille saderasituksille. Rakennuksen muoto ja korkeus sekä lähiympäristön puut ja rakennukset vaikuttavat viistosaderasituksen jakaantumiseen julkisivussa. Tuulen aiheuttamat ilmavirtaukset kuljettavat pinnan vesikalvoa sivulle ja ylöspäin mm. räystäsrakenteisiin, saumoihin, rakoihin ja halkeamiin, joista vesi voi kulkeutua rakenteiden sisään. Kapillaari-imu, painovoima ja pisaroiden kineettinen energia voivat lisäksi kuljettaa vettä rakenteen



sisään. Viistosateen aiheuttaman vesikalvon syntymiseen ja veden tunkeutumiseen seinärakenteeseen vaikuttavat ulkopinnan pintamateriaali, muotoilu ja saumarakenteet.

Sateen lisäksi betonin kosteustilaan vaikuttavat rakennekosteus, sisä- ja ulkoilman kosteus, maaperän kosteus, pohja- ja pintavesi, mahdolliset vuoto- ja roiskevedet sekä kuivumisolosuhteet, kuten auringon kuivattava vaikutus.

Auringon säteily aiheuttaa eri suuntiin aukeavien julkisivujen pintalämpötiloille ja siten kosteustilojen välille huomattavia vaihteluja. Lähteen /50/ maaliskuu 1977 Tampere säätiötoihin pohjautuvien laskelmien mukaan pohjois- ja eteläseinän julkisivun maksimipintalämpötilojen ero voi olla jopa 24 °C. Etelän puoleisissa julkisivupinnoissa pintalämpötilojen vuorokautinen vaihtelu voi olla jopa 45 °C. Lämpötilan vaihtelut tapahtuvat 0 °C:n molemmiin puolin, jolloin rakenteen jäätyminen ja sulaminen tapahtuvat vuorokausittain. Ulkokuoreen kohdistuukin suuria säärasi-tuksia, erityisesti etelänpuoleisiin julkisivuihin, joissa jäätyminen ja sulaminen voi tapahtua 50...60 kertaa vuodessa /18/.

Kesällä vuorokausittaiset lämpötilan vaihtelut etelän puoleisissa julkisivuissa ovat samaa suuruusluokkaa kuin talvella tapahtuen kuitenkin 0 °C:n yläpuolelle. Korkea lämpötila yhdessä kosteuden kanssa rasittavat erityisesti kuorirakenteen kiinnitystä sisärakenteeseen. Kiinnitystarvikkeiden tuleekin kestää suuria lämpötilanvaihteluita.

### 3.2.2 VEDELLÄKYLLÄSTYSASTE

Kriittinen vedelläkyllästysaste  $S_{cr}$  ilmoittaa kuinka suuri osa kokonaishuokostilavuudesta voi enintään olla vedellä täyttynyt, jotta betoni kestäisi jäätymisen vaurioitumatta. Betoni on pakka-senkestävää, jos todellinen vesipitoisuus  $S_{act}$  pysyy kriittistä kyllästysastetta pienempänä. Kriit-tinen vedelläkyllästysaste on betonin materiaaliominaisuus, joka pienenee jäätymisnopeuden kasvaessa tai jäätyislämpötilan alentuessa. Rakenne vaurioituu vain osissa, joissa kriittinen kyllästysaste on ylitetty, jolloin rakenteen pinta voi olla kuivumisen ansiosta kuiva ja samanai-kaisesti betonin sisäosissa kriittinen vedelläkyllästysaste on ylitetty.

Pakkasrasitus syntyy kapillaarihuokosissa olevan veden jäätyessä. Jäätyminen etenee asteittain lämpötilan laskiessa kohti pienempiä huokosia, sillä veden jäätympiste alenee huokoskoon pie-nentyessä. Pienimmissä, suuruusluokaltaan alle 5 nm olevissa huokosissa vesi jäätyy vasta - 30 °C:n alapuolella /33/. Jäätyneen veden jääkiteiden tilavuuden kasvu ( n. 9 tilavuus-%) aiheuttaa betonin laajenemista eli dilaatiota. Laajenemispaine murtaa betonia, ellei rakenteessa oleva vesi pääse laajenemaan jo olemassaoleviin halkeamiin tai huokosiin. Laajenemispaineen ylittäessä betonin vetolujuuden rakenne murtuu ja halkeamien verkosto leviää. Hydraulisen paineen suu-ruus riippuu veden jäätymisnopeudesta, virtausvastuksesta ja sementtikiven läpäisevyydestä.

Pakkasvaurioituminen aiheuttaa betoniin säröilyä joko pintaosiin tai ainoastaan betonin sisäosiin. Betoni lohkeilee ja rapautuu betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien heikentyessä ja ylittyessä. Rapautuma etenee lamelleittain ja halkeamat ovat rakenteen pinnan suuntaisia. Vau-rioiden eriasteinen ja paikallinen esiintyminen on seurausta betonin kosteuspitoisuuden ja läm-pötilan eroista rakenteen pinnalla ja sisäosissa. Pakkasvaurioita syntyykin herkästi kahden aineen rajapintaan, mikäli materiaalien kosteustekninen toiminta on selvästi erilainen.

Pakkasrapautumisen edistymistä voi seurata silmämääräisestikin. Pakkasrapauma laajentaa be-tonielementin ulkokuorta, jolloin elementtisaumat kapenevat. Muita ulkokuoreessa havaittavia muutoksia ovat elementtien käyristyminen ja pinnan halkeilu. Pitkälle edennyt pakkasvaurio hau-rastuttaa betonin, jolloin esimerkiksi elementin reunoissa oleva betoni saattaa murentua.



Pakkasenkestävyyttä ei voida parantaa merkittävästi betonin lujuuden kasvattamisella, sillä jään muodostumisen estämiseksi tarvitaan  $10 \text{ N/mm}^2$  suuruinen paine jokaista pakkasastetta kohden. Lujuuden nostaminen antaa kuitenkin lujuusreserviä rapautumistilan yläpuolelle, jolloin vaurioitavia jäätyksiä tarvitaan enemmän rapautumisrajan saavuttamiseen. Rakenteen kyky kestää toistuvia jäätymis-sulamisjaksoja riippuukin huokoisuuden lisäksi myös lujuudesta.

Pakkasvauriot voidaan estää ja pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa lisähuokoistuksella. Huokoistavilla lisäaineilla sementtikiveen muodostetaan läpimitaltaan noin  $0.01 \dots 0.5 \text{ mm}$  olevia huokosia, jotka eivät täyty vedellä kapillaarisen imun vaikutuksesta. Pakkaskestävyyden kannalta tehokkain suojahuokosten koko on välillä  $0.025 \dots 0.050 \text{ mm}$  /44/. Suojahuokossuhteella  $p_r$  tarkoitetaan suojahuokosmäärän eli painekäsittelyssä vedellä täyttyneiden huokosten tilavuuden suhdetta kokonaishuokosmäärään, jolloin suojahuokossuhde ilmoittaa ilmatäytteisinä säilyvien huokosten suhteellisen osuuden. Suojahuokossuhdevaatimus riippuu rakenteen ympäristöluokasta seuraavasti /44/:

Taulukko 3.1 Suojahuokossuhdevaatimus

Ympäristöluokka	Lujuusluokka	Pakkasenkestävyys
Y1 Vaikeat olosuhteet	$\geq K40$ <sup>1,2</sup>	Suojahuokossuhde 0.25 tai vastaava
Y2 Tavalliset olosuhteet	$\geq K40$ <sup>1,2</sup>	<sup>3</sup>
Y3 Helpot olosuhteet	$\geq K15$	-

1 Raudoittamattomilla rakenteilla lujuusluokkavaatimus on K30

2 Lujuusluokkavaatimus on K25, jos rakenne, kuten perustukset yleensä, ei ole kemiallisesti aggressiivisessa ympäristössä

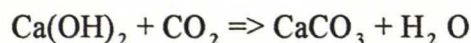
3 Suunnittelija selvittää tarpeelliset vaatimukset ja merkitsee ne piirustuksiin. Pakkaskestävyyden saavuttamiseksi riittää yleensä suojahuokossuhteelle asetettu vaatimus 0.20. Julkisivubeitoneille asetetaan aina pakkasenkestävyysvaatimus.

Koon lisäksi suojahuokosten välimatkan on oltava riittävän lyhyt ja niiden on oltava sementtikivessä tasaisesti jakautuneena. Huokosjaon  $\bar{L}$  arvo ilmoittaa veden jäätymistilanteessa kuljetavan enimmäismatkan lähimpään huokoseen. Pakkaskestävyys varmistamiseksi asetetaan huokosjaon  $\bar{L}$  arvoksi yleensä  $0.20 \text{ mm}$  /33/.

### 3.3 KARBONATISOITUMINEN

#### 3.3.1 KARBONATISOITUMISREAKTIO

Betonin karbonatisoituminen on kemiallinen reaktio hiilidioksidin ja sementin hydrataatiotuotteiden välillä. Hiilidioksidi on yleisin karbonatisoitumista aiheuttava kaasu, mutta ilman saasteista mm. rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ) ja typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) aiheuttavat myös karbonatisoitumista /3/. Liuennot kalsiumhydroksidi reagoi betoniin tunkeutuvan hiilidioksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia seuraavasti:



Kalsiumhydroksidin lisäksi kalsiumsilikaattihydraatit ja natrium- ja kaliumhydroksidit reagoivat hiilidioksidin kanssa. Hydroksidit muuttuvat suoloiksi ja huokosveden alkaalisuus pienenee, betoni neutraloituu.



Betonin lujuus ja kimmomoduuli sekä kuormitetun betonin viruma kasvavat karbonatisoitumisen seurauksena. Karbonatisoituminen on jatkuvaa, ellei jokin ulkoinen tekijä pysäytä tai hidasta sitä. Hidastavia tekijöitä ovat: /28,42/

- Betonin pintakerroksessa karbonatisoituminen etenee nopeammin kuin syvemmällä betonissa johtuen pintakerroksen (0...5 mm) suuremmasta huokoisuudesta muuhun betoniin verrattuna
- CO<sub>2</sub> -diffuusio hidastuu diffuusiovastuksen kasvaessa karbonatisoitumisrintaman edetessä syvemmälle betoniin
- Kalsiumkarbonaatti tiivistää kapillaarihuokosia saostuessaan huokosverkostossa, jolloin hetkellinen tasapainokosteus täyttää suuremman osan huokosista ja betonin CO<sub>2</sub> :n läpäisevyys pienenee pintakerroksen diffuusiovastuksen kasvaessa ja samalla karbonatisoitumisrintaman eteneminen hidastuu
- Suojahuokoistus vaikuttaa betonin karbonatisoitumisnopeuteen hidastavasti, ero samaa lujuustasoa olevaan huokoistamattomaan betoniin on n. 13...15 %
- Kalsiumhydroksidia siirtyy kosteuden mukana syvemmältä betonista karbonatisoitumisvyöhykkeelle ja osittain uudelleenalkalisoii karbonatisoitunutta betonia
- Betonin hydrataatioreaktio jatkuu tuottaen lisää karbonatisoituvaa ainesta

### 3.4 BETONIN MATERIAALIOMINAISUUDET

#### 3.4.1 BETONIN TIIVEYS

Kapillaarihuokosalueen läpäisevyys säätelee diffuuntoituvaa hiilidioksidimäärää, jolloin betonin tiiveys vaikuttaa hiilidioksidin diffuusiovastukseen /42/. Kapillaarihuokoisuus pienenee karbonatisoitumisen pienentäessä huokoskokoa, sillä reaktiossa muodostuvan kalsiumkarbonaatin tilavuus on suurempi kuin reaktioon kuluvien hydrataattien tilavuus.

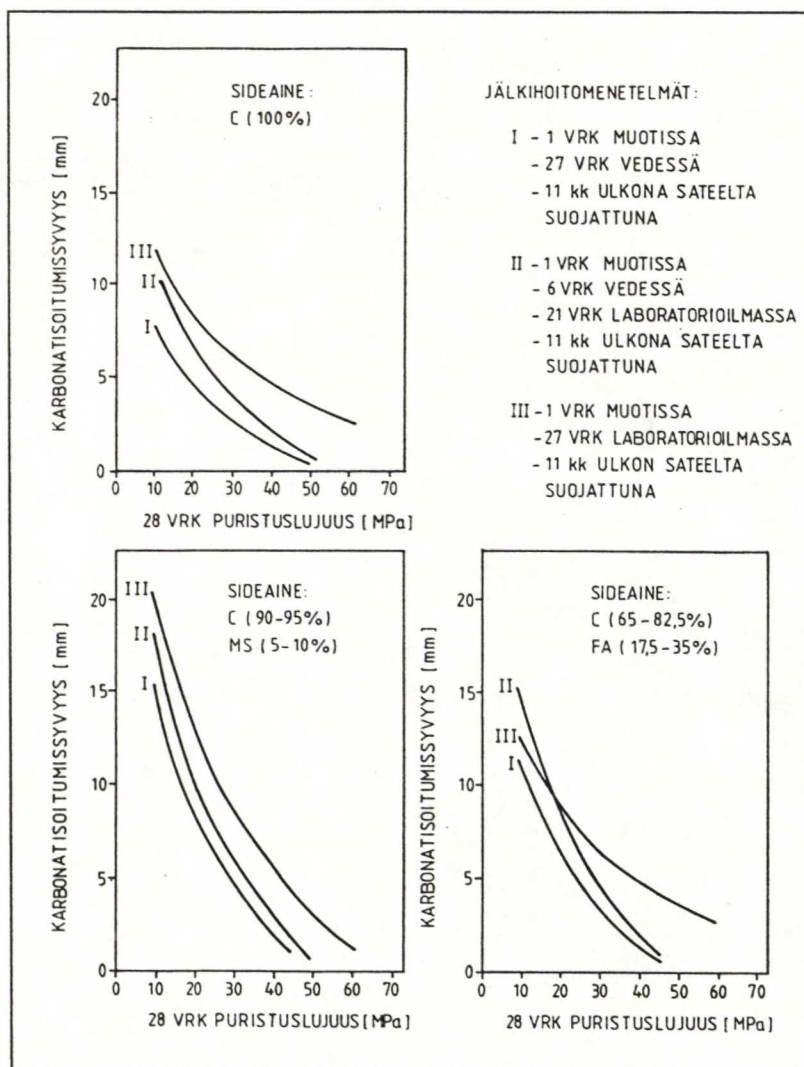
#### 3.4.2 KARBONATISOITUVAN AINEKSEN MÄÄRÄ

Betonissa karbonatisoituu pääasiassa kalsiumhydroksidi Ca(OH)<sub>2</sub>, jota muodostuu kalsiumoksidin CaO hydrataatituoitteena. Kalsiumoksidimäärä kasvaa sementin määrän kasvaessa ja karbonatisoitumisvyöhykkeen eteneminen hidastuu suuremman kalsiumhydroksidimäärän pystyessä sitomaan enemmän hiilidioksidia. Kalsiumoksidin määrä vähenee käytettäessä sementtiä korvaavia seosaineita ja karbonatisoitumisnopeus yleensä lisääntyy.

Sementin karkeus vaikuttaa pitkällä aikavälillä hydrataation jatkumiseen. Hienommasta sementistä tehdyn betonin sideaineesta on suurempi osuus hydratoitunut 28 vrk iässä kuin karkeammasta sementistä tehdyn saman lujuusluokan betonin, jolloin pitkän aikavälin lujuuden ja tiiviyyden kehittymisen kannalta karkea sementti on parempi.

#### 3.4.3 BETONIN JÄLKIHOITO

Pitkitetty jälkihoito mahdollistaa betonin korkean hydrataatioasteen ja huokosveden suuren hydrataatiokonsentraation. Kuvasta 3.2 nähdään jälkihoidon vaikutus, portland, lentotuhka-, sekä mikrosilikabetonin karbonatisoitumiseen.



Kuva 3.2 Erilaisten jälkihoitomenetelmien vaikutus betonin karbonatisoitumisnopeuteen. Karbonatisoitumisnopeudet on mitattu vuoden ikäisistä näytteistä. C on portlandsementti, FA on lentotuhka ja MS on mikrosilika /28/. Useiden tutkimusten mukaan seosaineelliset betonit ovat herkempiä huonon jälkihoidon vaikutuksille kuin tavallinen portlandsementistä valmistettu betoni /31/.

### 3.4.3 BETONIN KOSTEUS

Huokosveden on ensin liuotettava hydrataatit hydrataattien ja hiilidioksidin reaktion mahdollistamiseksi. Mikäli sementin huokosverkostossa on matala suhteellinen kosteus (< 20...30 %), niin huokosvettä ei ole riittävästi karbonatisoitumisreaktion käynnistämiseksi. 30...90 % suhteellisessa kosteudessa reaktio on mahdollinen ja nopeimmillaan se on 50 ...70 % suhteellisessa kosteudessa. Karbonatisoitumisreaktio hidastuu suhteellisen kosteuden ylittäessä 70 %, jolloin huokosverkosto tukkeutuu ja hiilidioksidin tunkeutuminen betoniin hidastuu. Suhteellisen kosteuden ollessa yli 90 % karbonatisoituminen ei ole mahdollista huokosverkoston täyttyessä vedellä.

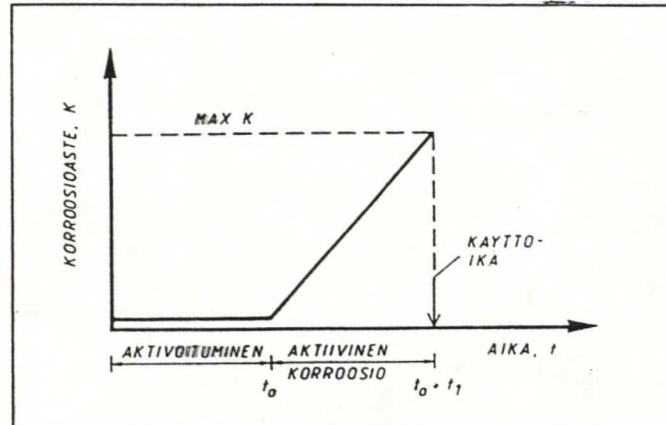
Ilman hiilidioksidikonsentraatio vaikuttaa betonin karbonasoitumisnopeuteen. Vapaan ilman hiilidioksidikonsentraatio vaihtelee välillä 0.03...0.1 tilavuus- %. Vähän tuuletetuissa sisätiloissa hiilidioksidipitoisuus saattaa nousta 1.4 % asti /20/. Tuulettamattomissa sisätiloissa karbonatisoitumisnopeus saattaa olla suurempi tuuletettuihin tiloihin verrattuna, mikäli muut olosuhteet ovat suotuisat.



Ilman hiilidioksidipitoisuuden vuosikasvu on noin 0.00015 %, jolloin 100 vuoden kuluttua betonirakenteet ovat todennäköisesti ilmastossa, jonka hiilidioksidipitoisuus on noin 0.2 %, jolloin karbonatisoitumisreaktio kiihtyisi nykyisestä noin 2.5-kertaiseksi /31/. Ilman sisältämällä happamilla yhdisteillä, kuten rikkihapolla, on todennäköisesti myös neutraloitumista kiihdyttävä vaikutus.

### 3.5 KARBONATISOITUMISTA KUVAAVAT MALLIT

Aikaa, jonka kuluessa betonin terästä suojaava kyky menetetään kutsutaan korroosion alkuvaiheeksi eli passiiviseksi korroosioksi. Korroosio käynnistyy karbonatisoitumisen tai kloridien aktivoitumisesta korroosioon. Korroosion edetessä aikaa, joka kuluu saavutettaessa suurin sallittava korroosioaste kutsutaan aktiiviseksi korroosioksi.



Kuva 3.3 Betonirakenteiden käyttöiän kaavamainen laskentaperiaate /50/.

Esimerkiksi jännitetyissä rakenteissa terästen korroosiota ei sallita lainkaan, jolloin käyttöikä määräytyy pelkästään aktivoitumisaian perusteella. Käyttöikä katsotaan päättyneeksi, kun terästä suojaava betonipeite lohkeaa korroosion johdosta ja rakenne joudutaan korjaamaan tai uusimaan. Käyttöikä määritellään kuvan 3 mukaisesti /50/

$$t_L = t_0 + t_1 \quad (3.1)$$

$t_L$  on käyttöikä

$t_0$  on korroosion aktivoitumisaika

$t_1$  on aktiivinen korroosioaika

Aktiivinen korroosioaika betonipeitteen lohkeamisen perusteella voidaan arvioida yksinkertaistulla kaavalla /50/

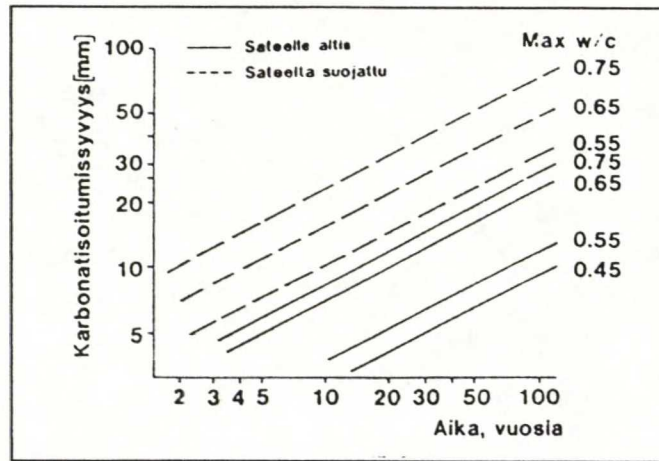
$$t_1 = k_a L \quad (3.2)$$

$t_1$  on aktiivinen korroosioaika

$k_a$  on aktiivisen korroosioajan kerroin

$L$  on betonipeitepaksuus

Karbonatisoitumisen aiheuttamalle korroosiolle  $k$  on 0.5 ... 1 /50/. Karbonatisoitumissyvyys riippuu ajasta sekä betonin vesi-sementtisuhteesta kuvan 3.4 mukaisesti.



Kuva 3.4 Keskimääräisen karbonatisoitumisvyvyyden yläraja-arvot portlandsementtibetonilla eri vesi-sementtisuhteilla /28/. Julkisivurakenteita ei tässä yhteydessä voi pitää sateelle alttiina pinnana, koska vain viistosateet osuvat siihen ja silloinkin voimakkaimmin vain yhdelle rakennuksen seinäpinnalle kerrallaan.

Karbonatisoitumisvyvyys voidaan esittää myös kaavan muodossa

$$X = k\sqrt{t} \quad (3.3)$$

$X$  on karbonatisoitumisvyvyys ( mm )

$k$  on karbonatisoitumiskerroin

$t$  on aika (vuosia )

Mallin perustana on oletamus että, karbonatisoitumisnopeutta rajoittavana tekijänä on hiilidioksidin diffuusio betonin pintakerroksen läpi karbonatisoitumisvyöhykkeeseen. Kerroin  $k$ :n arvo riippuu betonin diffusiovastuksesta hiilidioksidin suhteen, ilman hiilidioksidikonsentraatiosta ja betonin kyvystä sitoa hiilidioksidia. Karbonatisoitumiskerroin määritetään kaavoilla

$$k = 26 (w/c - 0.3)^2 + 1.6 \quad (\text{sateelta suojatut rakenteet}) \quad (3.4)$$

$$k = 10 (w/c - 0.3)^2 + 0.7 \quad (\text{sateelle alttiit rakenteet}) \quad (3.5)$$

$w/c$  on vesisementtisuhte

Vastaavat karbonatisoitumiskertoimet voidaan likimääräisesti esittää myös puristuslujuuden funktiona

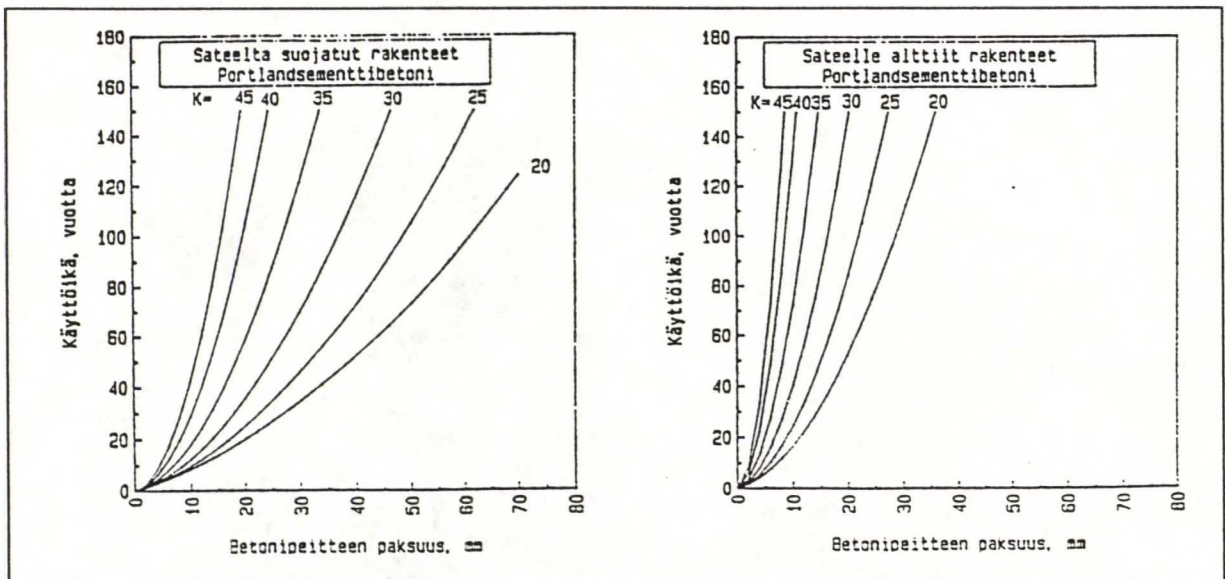
$$k = 0.0083 (53 - f_c)^2 + 1.6 \quad (\text{sateelta suojatut rakenteet}) \quad (3.6)$$

$$k = 0.0032 (53 - f_c)^2 + 0.7 \quad (\text{sateelle alttiit rakenteet}) \quad (3.7)$$

$f_c$  on puristuslujuus 28 d:n iässä

Kuvassa 3.5 on ilmatilassa olevien betonirakenteiden käyttöiät rakenteen ollessa sateelta suojatuna tai sateelle alttiina.





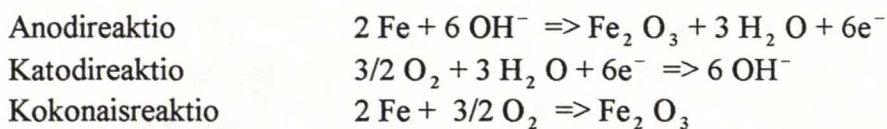
Kuva 3.5 Käyttöiät ilmatilassa oleville portland- tai yleissementtirakenteille, jotka ovat joko suojattuja a) tai alttiina b) sateelle /50/.

Kuvasta 3.5 nähdään pystysuoria julkisivupintoja käsiteltäessä sateelta suojattuina pintoina esimerkiksi lujuusluokan K25 betonilla 25 mm:n peitepaksuuksilla julkisivurakenteen kestoikä jää alle 40 vuoden. Nykyisellä 25 mm peitepaksuudella 100 vuoden tavoitekestoikä saavutetaan K35 lujuusluokalla.

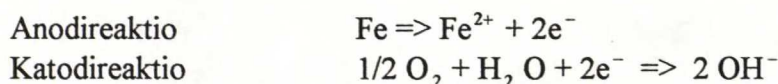
Kestävyyteen vaikuttavat ilmiöt ovat monimuotoisia ja ilmiötä kuvaavat matemaattiset mallit ovat usein yksinkertaistettuja funktioita, jotka eivät ota huomioon jälkihoitomenetelmiä ja ympäristöolosuhteita; kosteutta, saderasitusta, lämpötilaa ja ympäröivien rakennusten ja puiden suojavaikutusta viistosadetta vastaan. Vaikuttavien tekijöiden satunnaisuus, kuten sääerot eri vuosina, aiheuttavat hajontaa käyttöiän määrittämisessä. Puutteellinen tieto parametrien todellisista frekvenssijakaumista on vaikeuttanut käyttöiän laskennan kehitystä tilastomatemattiseen suuntaan.

### 3.6 TERÄSTEN KORROOSIO

Betonin huokosveden korkea alkalisuus ( $\text{pH} > 12.5$ ) suojaa betoniteräksiä korroosiolta. Voimakkaan emäksisissä olosuhteissa teräksen pinnalle muodostuu passiivikalvo, joka estää korroosion etenemisen. Passiivikalvo muodostuu teräksen pinnalle seuraavien kemiallisten reaktioiden tuloksena:



Karbonatisoitua betonin menettää alkalisuutensa ( $\text{pH} < 9$ ), jolloin betonin kemiallinen suojavaikutus häviää ja rauditus menettää passiivisuutensa ja teräksen korroosio voi alkaa. Karbonatisoitumisvyöhykkeen saavuttaessa teräksen pinnan, passiivikalvo katoaa tältä kohtaa ja korroosioreaktio voi käynnistyä:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$  hapettuu nopeasti ruosteeksi, joka on rautaoksidin ja -hydroksidin sekoitus. Ruosteen tilavuuden ollessa 2...5 kertaa suurempi kuin alkuperäisen teräksen tilavuus betoniin muodostuu halkeilua, lohkeilua ja muita vaurioita aiheuttavaa laajenemispainetta /31/.

Lähteen /5/ mukaan terästen korroosio on mahdollista betonin huokosveden pH laskiessa alle 11:ta eli korroosiota voi esiintyä betonikerroksessa, joka fenoliftaleiini-indikaattorilla luokitellaan karbonatisoitumattomaksi. Korroosio emäksisessä ympäristössä on kuitenkin hyvin hidasta. Korroosionopeus on pieni suhteellisen kosteuden ollessa alle 75 % ja suurimmillaan suhteellisen kosteuden ollessa 95 %. Suhteellisen kosteuden arvoilla lähellä 100 %:a hapen pääsy teräkseen estyy ja korroosio pysähtyy. Korroosionopeus on ulko-olosuhteissa 10...50  $\mu\text{m}$  vuodessa, ulko-kuoren alhaisen lämpötilan hidastaessa korroosiota. Raudoitusta ympäröivän betonin karbonatisoiduttua pintakäsittelyllä ja betonipeitteen paksuudella on vähäinen merkitys korroosion kehittymiseen.

### 3.7 BETONIULKOKUOREN HALKEILU JA KÄYRISTYMINEN

Betonirakenne halkeaa vetojännityksen ylittäessä rakenteen vetolujuuden. Halkeamien syntyyn vaikuttaa vetojännityksen syntymisnopeus ja suuruus, muodonmuutoksen estyminen ja betonin muodonmuutostekapasiteetti. Hitaassa muodonmuutoksessa viruma pienentää syntyviä vetojännityksiä. Halkeamien syitä ovat kutistumat, rakennuksen tai elementin liikkuminen, painumat, pakkasvauriot, ylikuormitus tai betonin riittämätön puristuslujuus. Betonin kutistuma on ajasta riippuva muodonmuutos ja se voidaan jakaa varhaiskutistumaan ja kovettuneen betonin kutistumiseen.

Taulukko 3.2 Varhaiskutistuman kutistumatyypit

Varhaiskutistuman kutistumatyypit	Suuruusluokka	Syy	Halkeaman ilmenemisen ajankohta
Plastinen kutistuminen	1...2 %	Veden haihtumisnopeuden ylittäessä veden erottumisnopeuden muodostuu huokosveteen kapillaarinen paine, joka aiheuttaa partikkelien välille vetovoimia	Plastiset painumishalkeamat ilmenevät noin 10...30 minuutin kuluttua. Plastiset kutistumahalkeamat ilmenevät noin 2...3 tunnin kuluttua verkkohalkeamina. Verkkohalkeilua aiheuttavat myös pakkasvauriot ja raudoitteiden korroosio.
Hydrataatiokutistuminen	0.05...0.1 ‰	Hydrataatioreaktiossa muodostuvien reaktiotuotteiden tilavuus on pienempi kuin sementin ja veden alkuperäinen yhteinen tilavuus	Massiivisilla rakenteilla 1...2 vuorokauden kuluttua mikrohalkeamina runkoainerakien ja sementtikiven välille
Jäähtymiskutistuminen	0.2...0.4 ‰	Betonin jäähtymisnopeus ylittää hydrataatiolämmön muodostumisnopeuden	Massiivisilla rakenteilla pintahalkeamina 2...4 vrk:n kuluttua.



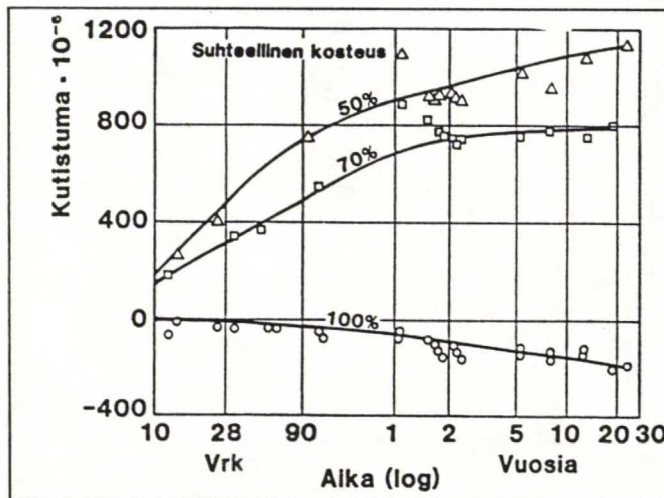
			Läpimenevät halkeamat 1...2 viikon kuluttua
--	--	--	---

Kovettuneen betonin kutistumatyypit	Suuruusluokka	Syy	Halkeaman ilmenemisen ajankohta
Kuivumiskutistuma	0.3...0.6 ‰	Tilavuuden pieneneminen on seurausta veden haihtumisen aiheuttamista jännityksistä sementtikiveen ja jäljellä olevaan haihtumiskykyiseen veteen. Aiheuttajana mm. voimakas lämpökasittely tai ulkoiset olosuhteet	Useiden kuukausien kuluttua. Halkeilun ilmenemisen ajankohta riippuu betonin ominaisuuksista.
Karbonatisoitumiskutistuma	Maksimissaan noin 30...50 ‰ betonin kokonaiskutistumasta	Osa veden haihtumisen aiheuttamia jännityksiä kantavista hydrataatiotuotteista kuluu kemiallisesti ilman hiidioksidin vaikutuksesta	Useiden kuukausien kuluttua pintahalkeiluna

Taulukko 3.3 Betoninormien /44/ mukaan betonin loppukutistuman perusarvo  $\epsilon_{cs0}$

Rakenteen ympäristöolosuhteet	Suhteellinen kosteus %	$\epsilon_{cs0}$ ‰
Vesi	100	0
Hyvin kostea ilma	90	0.15
Ulkoilma	70	0.25
Kuiva ilma	40	0.45

Jälkihoidon vaikutus loppukutistumaan on vähäinen, mutta riittävän pitkä, vähintään viikon kestävä jälkihoito parantaa betonin vetolujuutta ja vähentää rakenteen halkeilutaipumusta.



Kuva 3.6 Suhteellisen kosteuden vaikutus kutistuman kehittymiseen /28/.

Rakenteellisia, ulkoisesta kuormituksesta aiheutuvia halkeamia voi syntyä rakenteiden painumisesta tai julkisivurakenteiden jäykästä sidonnasta taipuvaan rakenteeseen. Rakenteen tukipinnat ja kiinnikkeet aiheuttavat pakkovoimia estämällä betonin muodonmuutoksia, esimerkkinä parveke- rakenteiden betonikaiteiden jäykkä kiinnitys liittyvään rakenteeseen /33/.

Halkeama mahdollistaa karbonatisoitumista ja teräksen korroosiota kiihdyttävien aineiden, kuten kloridien, tunkeutumisen betoniin nopeammin ja yli 0...2 mm leveiden halkeamien on todettukin kiihdyttävän terästen korroosiota ulko-olosuhteissa. Halkeamat ovat kuitenkin usein kohtisuoraan raudoituksen suuntaa vastaan, jolloin vaikutus jää paikalliseksi /31/.

Pakkovoimia sandwich-elementtijulkisivuissa aiheuttaa sisä- ja ulkokuoren erilaiset lämpö- ja kosteusliikkeet, erityisesti pesu- ja taustabetonin ja klinkkereiden ja taustabetonin välillä. Betonin pituuden lämpötilakerroin  $\alpha$  on betonin ominaisuuksista riippuen välillä  $5...14 \cdot 10^{-6}$  1/K. Sementtimäärän lisääntyessä  $\alpha$  kasvaa ja kosteuspitoisuuden kasvaessa pienenee. Suurin vaikutus betonin lämpöliikkeisiin on kuitenkin runkoaineen laadulla. Kvartsipitoista runkoainetta käytettäessä pituuden lämpötilakerroin  $\alpha$  voi olla  $12...14 \cdot 10^{-6}$  1/K ja kalkkikiveä käytettäessä  $6...9 \cdot 10^{-6}$  1/K, muita runkoainelaatuja sisältävien betonien jäädessä raja-arvojen väliin /33/. Pinnoitemateriaaleista tiililaatan  $\alpha$  on  $4...6 \cdot 10^{-6}$  1/K, kalkkihiekkakivilaatan  $8 \cdot 10^{-6}$  1/K ja klinkkerilaatan  $4.5...7 \cdot 10^{-6}$  1/K.

Erilaisten lämpöliikkeiden ja muodonmuutosten seurauksena ulkokuori käyristyy. Käyristymistä voi aiheuttaa myös pakkasrapauman aiheuttama betonin paisuminen, sideraudoitus, elementin nosto muotista, elementtien ulko- ja sisäpintojen välinen lämpötilaero käyttötilanteessa ja betonin kuivumiskutistuma. Käyristyminen ei ole täysin palautuva muodonmuutos, joten käyristymän lisääntyminen johtaa elementtien hammastamiseen ja saumojen liikkumiseen.

### 3.8 PINTAKÄSITTELYN VAURIOT

Julkisivupinnoite voidaan jakaa sideainekoostumuksen perusteella orgaanisiin, epäorgaanisiin ja monisideaineisiin pinnoitteisiin. Pinnoitteiden käyttöikään vaikuttaa alustan kunto, esikäsitteleminen puhtaus ja kosteus sekä työn huolellisuus ja olosuhteet.

Julkisivupinnoitteiden ja maalien vaurioitumisen syynä on useimmiten kosteus. Kosteus aiheuttaa pinnoitteissa ja maaleissa sisäisiä jännityksiä, muodonmuutoksia ja pakkasrasituksia. Lisäksi kosteus aktivoi ja kuljettaa rakenteelle ja maalikalvolle haitallisia suoloja, emäksiä ja happoja. Pinnoitteen haurastuminen ja halkeilu mahdollistaa ulkoisen kosteuden kulkeutumisen rakenteen alustaan. Pinnoitteen ollessa tiivis, kosteutta kerääntyy pinnoitteen ja rakenteen rajapintaan, jolloin pitkäaikainen kosteus- tai pakkasrasitus vaurioittaa pinnoitetta ja alustaa, jolloin pinnoite saattaa irrota alustastaan.

Pinnoitetta rasittavat myös UV-säteily, lämpötila ja sen vaihtelut sekä ilman sisältämät aineet ja epäpuhtaudet. Sään aiheuttamia muutoksia pinnoitteissa ovat liituuntuminen maaleilla, värin ja kiillon muutokset, rapautuminen, haurastuminen ja halkeilu /3/.

### 3.9 SAUMOJEN JA LIITOSDETALJIEN VAURIOT

Suomessa käytetyn yksivaiheisen tiivistyksen muodostaa ulkoilmaan kosketuksissa oleva saumausmassa, sen alla oleva alusnauha ja villatilan tuuletusputki.

Saumojen ja kittien vaurioitumisen syinä ovat suunnittelu-, työ- ja materiaalivirheet. Saumapintojen likaisuus ja kosteus, kolot ja epäpuhtaudet heikentävät pohjustuksessa saumausmassan tartuntaa. Saumaustyö on saattanut tapahtua liian kosteissa tai kylmissä olosuhteissa. Saumausmassan riittämätön muodonmuutoskyky tai sen heikentyminen UV-säteilyn, lämpötilan vaihteluiden, kosteuden, ilmansaasteiden tai vanhenemisen vaikutuksesta aiheuttaa tartuntahalkeaman syntyminen ja tartunnan peittämisen. Liian kapea sauma tai riittämätön sauman paksuus yhdessä



sauman haurastumisen kanssa aiheuttaa sauman koheesiokatkeamisen eli läpirepeytymisen. Sauman reuna saattaa haljeta elementin muodonmuutoksista aiheutuvista liikkeistä /10/.

Saumojen taustatilan puutteellinen tuuletus ja hallitsematon veden poisjohtaminen elementtien saumoista tuuletusputkien liian vähäisellä määrällä tai väärällä sijoittamisella saattaa johtaa kosteus- ja pakkasvaurioiden syntymiseen ja saumapinnan rikkoontumiseen. Saumavaurion kautta rakenteeseen saattaa kulkeutua vettä kapillaarisesti tai sisä- ja ulkotilojen paine-erojen vaikutuksesta ja aiheuttaa rakenteeseen lisävaurioita /18/.

Valkobetonielementeissä saumamassat ovat irronneet pääosin tartunnastaan jo 0.5...1 vuoden kuluttua saumauksesta /27/. Saumausmateriaalien käyttöikä onkin betonirakenteen käyttöikää oleellisesti lyhyempi.

### 3.10 JULKISIVUUN LIITTYVIEN RAKENTEIDEN VAURIOT

Ulkoseinän kosteusrasitusta lisäävät vialliset tai huonosti toimivat räystäät, syöksytorvet, ulokeet, pellitykset tai saumarakenteiden tuuletusputket. Lisäksi ns. myrskypeltien puuttuminen mahdollistaa veden pääsyn rakenteen sisään. Parvekkeiden lyhyet vedenpoistoputket ja julkisivuun kiinnitettävien rakenteiden kiinnikkeiden ruostuminen yhdessä ilman saasteiden kanssa aiheuttavat julkisivupinnan likaantumista.

### 3.11 JULKISIVUMATERIAALIEN TYYPILLISET VAURIOT

#### 3.11.1 BETONI

Maalatut betonipinnat vähentävät tai estävät rakenteen kastumisen, jolloin rakenteen kosteuspiitoisuus ei nouse pakkasenkestävyyden kannalta kriittisen rajan  $S_{cr}$  yli ja rakenne, jossa ei ole tarpeeksi suojahuokosia pakkasenkestävyyden kannalta säilyy vahingoittumattomana.

Pesubetonipinnoissa pakkasvaurion havaitseminen on helpointa verrattuna muihin pintoihin. Pakkasrapautuman aiheuttama murtovyöhyke jää usein syvemmälle rakenteeseen, jolloin koko pesupinta saattaa olla irti alustastaan.

Tiilipintaisille elementeille on tyypillistä elementin käyristyminen ja nurkkaelementin saumojen rakoilu. Kuorielementit, joissa käytetään pintalaattoina poltettua tiiltä, klinkkeriä tai luonnonkiveä kaareutuvat betonin kutistumisen ja pintarakenteen ja betonin erilaisen lämpölaajenemiskertoimen johdosta /33,34/. Elementtirakenteilla elementtien asennusvirheet ja mittapoikkeamat näkyvät hammastuksena ja vinoina saumoina. Pakkasvaurioita syntyy kohtiin, joissa tiilipinta kasvaa toistuvasti ja pysyy kosteana esimerkkinä kohdat, joiden kosteusrasituksen aiheuttaa ikkunoiden lyhyet vesipellit tai parvekkeiden lyhyet vedenpoistoputket. Kastuneen sandwich-elementtirakenteen kuivuminen on hidasta erityisesti talviaikaan. Diffuusio- ja saumarakenteista pääsevä kosteus tiivistyvät ulkokuoren rajapintaan ja pakkasvaurioriski kasvaa.

Klinkkeripintojen ongelmana on laattojen likaantuminen ja irtoaminen. Laattojen irtoaminen tapahtuu tavallisesti elementin reunoista laattojen ollessa kiinnitettynä ilman suojaavaa betonireunusta. Sileillä ja tekstuuriltaan alle 1 mm syvyisillä betonipinnoilla likaantuminen keskittyy tiettyihin pinnan osiin, jolloin pinnasta tulee kirjava. Tekstuurin syvyyden ollessa yli 1 mm, kuten harjatuilla ja pesubetonipinnoilla, vesikalvo jakaantuu tasaisemmin ja likaantuminen ei ole niin haitallista.



### 3.11.2 TIILI

Pakkasvaurioita ilmenee erityisesti viistosateelle alttiissa tiiliseinissä, joiden pakkasenkestävyys on heikko alhaisesta polttolämpötilasta johtuen. Tiilipintojen ongelmana on myös kalkkihärme, joka on peräisin betonista tai laastista imeytyvistä kalsiumhydroksidista, jonka reaktio ilman hiidioksidin kanssa muodostaa kalsiumkarbonaattia.

Kalkkiahiekkakiven halkeilutaipumus on suurempi kuin tiilikivellä, johtuen suuremmasta muodonmuutoksesta (1.5...2-kertaiset tiilikiveen verrattuna), pienemmästä murtovenymästä sekä huonommasta tartunnasta. Kalkkiahiekkakiven pintaa rapauttavat rikkiyhdisteet ja veden kanssa muodostuva rikkihappo. Vaalea kalkkiahiekkakivi likaantuu tiilikivipintaa herkemmin, kiven vedenimuneisuuden ollessa pienempi, jolloin osa pinnasta peseytyy ja osa jää likaiseksi ja tummemmaksi.

### 3.11.3 KEVYTBETONI

Kevytbetonijulkisivut pinnoitetaan yleensä ohutpinnoitteella tai kolmikerrosrappauksella. Kevytbetonialustan pienempi huokoskoko imee rappauksen läpi kapillaarisesti siirtyvän veden kevytbetonialustaan. Alustan kuivuminen tapahtuu hitaasti diffuusiolla. Lisäksi saumojen ja halkeamien kautta rakenteeseen imeytyy sadevettä ja paine-eron vaikutuksesta konvektion kuljettamana sisäilman kosteutta, joka voi tiivistyä rakenteeseen. Korkeasta kosteuspitoisuudesta voi syntyä pakkasvaurioita ja pinnoitteen irtoamista erityisesti rakennuksen yläosissa ja nurkissa.

## 3.12 ESIMERKKIKOhteiden Vauriot

### 3.12.1 VAURIoiden LAAJUUS

Kangasvuokontie 17 F, Savonlinna on 1977 valmistunut kolme asuinkerrosta ja maanpäällisen kellarin käsittävä asuintalo. Julkisivut ovat pesubetonielementtejä ja parvekerakenteet sileitä maalattuja betonielementtejä. Sokkeli on paikallavalettua betonia pinnoitteenaan maalaus. Rakennuksen pahimmat vauriot ovat parvekkeiden pieli-, -laatta- ja kaide-elementeissä. Porausnäytteistä on määritetty karbonatisoitumissyvyys indikaattoriliuoksen avulla. Ohuthietutkimuksessa havaittiin vähäistä ettringiitin muodostumista.

Viertotie 14, Porvoo on 1972 valmistunut yhdeksän asuinkerrosta ja ullakon käsittävä asuintalo. Julkisivut ovat sandwich-elementtiä, joissa on maalattu pinta. Julkisivun kuorielementeissä on paikoin halkeamia elementin reuna-alueilla. Ohuthietutkimuksen perusteella betonin huokosissa on ettringiittiä ja portlandiittiä  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

## 3.13 VAURIOMEKANISMIEN LASKENTATulosten ja Vaurioiden Välinen Korrelaatio

Karbonatisoitumissyvyys, mm kaavojen 3.3...3.7 perusteella

Viertotie 14 A		Kangasvuokontie 17 F	
Aika a	21	Aika a	17
Lujuusluokka K	30	Lujuusluokka K	30
Vesisementtisuhde	0.6	Vesisementtisuhde	0.6
Kerroyn k		Kerroyn k	
k w/c	3.94	k w/c	3.94
k f/c	5.99	k f/c	5.99



KarbonatISOITUMISSYVYYS w/c 18.1

 $f_c$  14.7

KarbonatISOITUMISSYVYYS w/c 16.2

 $f_c$  14.7

Mitattu syvyys min 6

max 14

Mitattu syvyys min 6

max 20

Kangasvuokontien näytteet ovat eteläsivun parvekepielestä, ulkopinnan karbonatISOITUMISSYVYDEN ollessa 6...10 mm ja sisäpinnan 15...20 mm. Vierterotien näytteet ovat ulkoseinästä, ulkopinnan karbonatISOITUMISSYVYDEN ollessa 6...14 mm ja sisäpinnan 2...5 mm. Parvekesivuseinän sisäpinnassa on 10...15 mm ja ulkopinnassa 8...13 mm karbonatISOITUMISSYVYYS.

Laskentamallin tulokset ovat suuntaa antavia ja verrattaessa mitattuihin arvoihin voidaan todeta suuri hajonta tulosten välillä. KarbonatISOITUMISTA kuvaavan tarkan mallin kehittäminen mittaus-tulosten perusteella onkin lähes mahdoton tehtävä, ilmiöön vaikuttavien tekijöiden ollessa lukuisat.

## 4. JULKISIVUNKORJAUSMENETELMIÄ

Julkisivunkorjausmenetelmiä on useita eri tarkoitukseen soveltuvia. Julkisivun korjauksia ovat kaikki kevyestä laastipaikkauksesta koko julkisivun uusimiseen. Käytettävissä olevia menetelmiä, korjausperiaatteen mukaisesti jaoteltuna;

- olemassaolevan rakenteen korjaaminen
  - pesu
  - liittyvät korjaukset; kiinnitykset, saumat, liitosdetaljit ym.
  - laastipaikkaus ja maalaus
  - suojaus pinnoittamalla
  - sähköinen uudelleenalkalointi
  - katodinen suojaus
- uudelleenverhoilu
  - päälle tehtävä uusi pintarakenne
  - ruiskubetonointi
- ulkokuoren poisto ja uusi pintarakenne

Uudelleenverhoilu sisältää yleensä rakenteen lämmöneristämisen parantamisen. Tässä luvussa käsitellään rakenteellisia julkisivun korjausmenetelmiä, pääasiassa kevytrakenteisia uudelleenverhousmenetelmiä. Kevytrakenteisissa korjausmenetelmissä vanhaa julkisivua ei pureta eikä rakenne vaadi omaa erillistä konsolia tai perustusta vaan kiinnitys tapahtuu vanhaan rakenteeseen. Olemassaolevan betonirakenteen säilyttävästä korjauksesta käsitellään lyhyesti uudelleenalkalointia.

Julkisivun korjausmenetelmät, joissa pinta uudelleenverhoillaan, ovat hankintakustannuksiltaan verrattuna kevyisiin pintakorjauksiin ja maalauksiin huomattavasti suuremmat, mutta menetelmän taloudellisuusvertailu tulee tapahtua pitkällä tähtäimellä, rakenteen koko elinkaaren aikana, jolloin lämmitysenergian säästöt ja rakenteen tehokkaampi suojaus lisävaurioita vastaan puoltavat menetelmän valintaa.

### 4.1 JULKISIVULEVYT

Julkisivukorjaus julkisivulevyillä tehdään tuuletusraollisena rakenteena, jossa julkisivulevy kiinnitetään pystysuuntaiseen yleensä 600 mm:n jaolla olevaan kestopuu- tai metallirankaan. Koolaus-ten väliin kiinnitetään lisäksi tukipaloja levyjen ylä- ja alareunojen kiinnittämiseksi. Lämmöneriste asennetaan koolauksen väliin ja levy kiinnitetään suoraan koolaukseen tai rakenteeseen tehdään ristikoolaus tarvittavan tuuletusraon, yleensä vähintään 22 mm, saavuttamiseksi. Lämmöneristeenä käytetään yleensä 50 mm paksuista palamatonta pehmeää eristettä suojattuna tuulensuojalevyllä tai kovalla lämmöneristeellä. Käytettäessä kahta lämmöneristekerrosta, kerrokset limitetään. Pehmeä eriste sopii epätasaisille alustoille, koska se painuu tiiviisti pohjan pintaa vasten. Markkinoilla on myös eristemateriaaleja, joiden pinnalla on erillinen tuulensuojakalvo, joka joudutaan kuitenkin palomääräysten mukaan asentamaan vasten pehmeää eristettä palonkestävissä rakennuksissa, joissa lämmöneristeeltä vaaditaan palamattomuutta tai I/I-rakennetta.

Nurkka-, ikkuna- ja saumaliittymät tehdään perinteisillä menetelmillä paikanpäällä tai erillisillä tehdasvalmisteisilla elementeillä. Saumat tehdään avonaisina käyttämällä vaakasaumoissa alusrakenteena alumiinia tai muovipinnoitetusta ohutlevystä (pellistä) taivutettua levyn väristä tippalistaa. Umpinainen sauma tehdään elastisella kitillä tai kumisella taustanauhalla, joiden alla vaakasaumassa on peltikaista, joka toimii kitin kiinnitysalustana ja mahdollistaa rakenteen yhtenäisen tuuletusraon.



Julkisivulevyinä voidaan käyttää pinnoitettuja, pinnoittamattomia tai kivipintaisia levyjä. Valmistusmateriaaleja on mm. polymeeri-betoni (Steni ja Stenex), vaneri (Karaattilevy), kuitusementti (CemStone, Cemcolour, Glasal tai Luja-julkisivulevyt) tai kalsiumsilikaatti (Masterstone, Chromaclad, Masterclad).

Verhouslevyjen kriittisiä kohtia ovat kiinnityskohtien ja saumojen vedenpitävyys. Saumarakenteet joutuvat lämpöliikkeiden rasittamiksi (erityisesti polymeeribetonisilla steni-levyillä), jolloin umpisaumoissa saumausmateriaalin uusittavuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen tulee kiinnittää huomiota. Kiinnityskohtien vedeneristyksen pettäessä rakenteen koolaukseen pääsee vettä ellei kunnollista vedenpoistoa ole suunniteltu ja toteutettu, jolloin rakenteen koolauksen puuosat voivat lahota tai metalliosat ruostua. Laho- ja korroosio vaaran vuoksi käytetäänkin painekyllästettyä puuta ja sinkittyjä metalliosia. Rakenteeseen voi kerääntyä myös kosteutta, mikäli tuuletusrakenne ei ole virtausteknisesti toimiva. Tuuletusrako on joko liian ahdas, jolloin se ei siirrä ilman virtausten mukana raon sisältämiä kosteusmääriä pois tai virtaus on estetty raoissa koolauksilla ja kiinnityksillä tai ulkoilmaan rakenteen liittymäkohdissa sokkeliin ja räystääseen.

Likaantuminen riippuu ympäröivistä olosuhteista ja ilmastosta ja levyn pintastruktuurista. Likaantuminen näkyy valumaraitoina ja sauma- ja koolauskohtien tummumisena. Pinnan pesu ja puhdistus voidaan tehdä miedolla pesuaineliuoksella tai pelkällä vedellä painepesulaitteella. Rakenteen puhdistamista voidaan helpottaa suojapinnoitteilla.

Julkisivulevyjen mekaaninen kestävyys on korkea verrattuna rappausmenetelmiin, rakenne soveltuu hyvin iskunkestävyytensä puolesta maanpäällisiin kerroksiin.

Levyypintojen ulkonäkö soveltuu 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennettuihin betonielementtitaloihin ja levyverhoiltuihin julkisivuihin esim. mineriittilevyihin. Rakenne ei sovellu korjausmenetelmäksi, mikäli vaaditaan saumatonta julkisivupintaa esim. rapattujen pintojen verhoiluun. Levyillä voidaan tehdä kuitenkin elävää pintaa rakenteen saumoja korostamalla ja levyjen värejä ja värisävyjä muuttamalla.

#### 4.2 METALLILEVYT JA -KASETIT

Metallilevyt ovat yleensä profiloituja, kuumasinkittyjä tai muovipinnoitettuja teräsohutlevyjä, pinnoitteena joko PVC-plastisoli tai PVF<sub>2</sub> (polyvinyyliideenifluoridi). Levyjen paksuus on 0.5 ... 1.0 mm ja paino 4.3 ... 11 kg/m<sup>2</sup>.

Metallikasetteja valmistetaan ruostumattomasta teräksestä, alumiinista, kuparista ja messinkistä. Yleisin materiaali on muovipinnoitettu teräsohutlevy. Raaka-aineen valmistaja on yleensä Rautaruukki Oy. Ainepaksuus on nykyisin 1.0 mm aiemman 0.7 mm asemesta ja kasvaa kasettikoon kasvaessa aina 2.0 mm asti. Kasettien koko on 400·400 ... 1000·2000 mm. Kasetit voidaan pinnoittaa keraamisilla- tai tiililaatoilla tai orgaanisella ohutrappauksella. Metallikasetti on esivalmistettu komponentti, jota ei työstetä asennuspaikalla. Nurkka- ja pielilistat sekä vesipellit tehdään yleensä kuitenkin paikanpäällä. Lämmöneristeenä käytetään palamattomia eristeitä, pak-suudeltaan yleensä 50 mm /29/.

Levyt- ja kasetit kiinnitetään metalli- tai puurunkoiseen tuuletusraoliseen koolaukseen haponkestävillä tai ruostumattomilla poraruuveilla piilokiinnityksellä, ripustuskiinnityksellä tai piiloniiteillä. Kiinnikkeiden tulee sallia teräksen lämpöliikkeet, erityisesti suuremmilla kasetin mitoilla.



Rakenteen tuuletusraon toiminta varmistetaan yhtenäisellä, vähintään 20...22 mm tuuletusraolla. Rakenteen nurkkien väljyys on tuuletusraon toiminnan kannalta kriittinen kohta. Menetelmä asettaa suuret vaatimukset julkisivun pinnan tasomaisuuden mittaukselle, sillä kasetit valmistetaan, suunnitellaan ja tilataan mittaustulosten perusteella käyttäen perusmittakasetteja ja sovituskasetteja (kulmakasetteja). Pohjarakenteen epätasaisuus aiheuttaa kiinnitysorsien tason vaihteluja, jotka tasataan kasettien kiinnikkeiden säätövaralla, esim. Liberta-järjestelmän pistemäisillä kiinnikkeillä (säätövara 0...70 mm), katso kuva 4.1. Muita järjestelmiä ovat mm. Composer julkisivulevy ja Ruukin VäriValmis.

Aiemmin ohuempia ainevahvuuksia käytettäessä esiintyi kasettien käyristymistä ja asennusvaiheessa pinnan lommahtamista, peilaamista. Nykyään ainepaksuudet ovat suuremmat ja teräslevy on oikaistua.

Profiilipellillä on esiintynyt julkisivun likaantumista likavalumina ja tummumisena. Pintaa voidaan pestä harjaamalla tai painepesurilla. Metalliverhoilussa on esiintynyt mekaanisia vaurioita maanpäällisessä kerroksissa. Rakenteen iskulujuutta voidaan parantaa paksummalla tai kaksinkertaisella levytyksellä tai asettamalla levyn taakse esimerkiksi filmivaneri. Lisäksi vaurioita voidaan korjata uudelleenmaalauksella tai poistamalla ja vaihtamalla kasetti. Uusien ja vanhojen kasettien väriero on kuitenkin todennäköinen.

Profiilipellin ulkonäkö on ollut esteenä rakenteen käytölle asuinkerrostalojen julkisivuissa. Teräskasettien ulkonäkö ei poikkea samalla tavalla käytössä olevista ratkaisuksista, menetelmän saumarakenteet ja pinnan eri kasettien erottuminen korostuvat julkisivun ulkonäössä. Teräskasetit eivät aseta pinnan suoruuden inventointia lukuunottamatta erityisvaatimuksia olemassaolevalle rakenteelle, katso kuva 4.1.

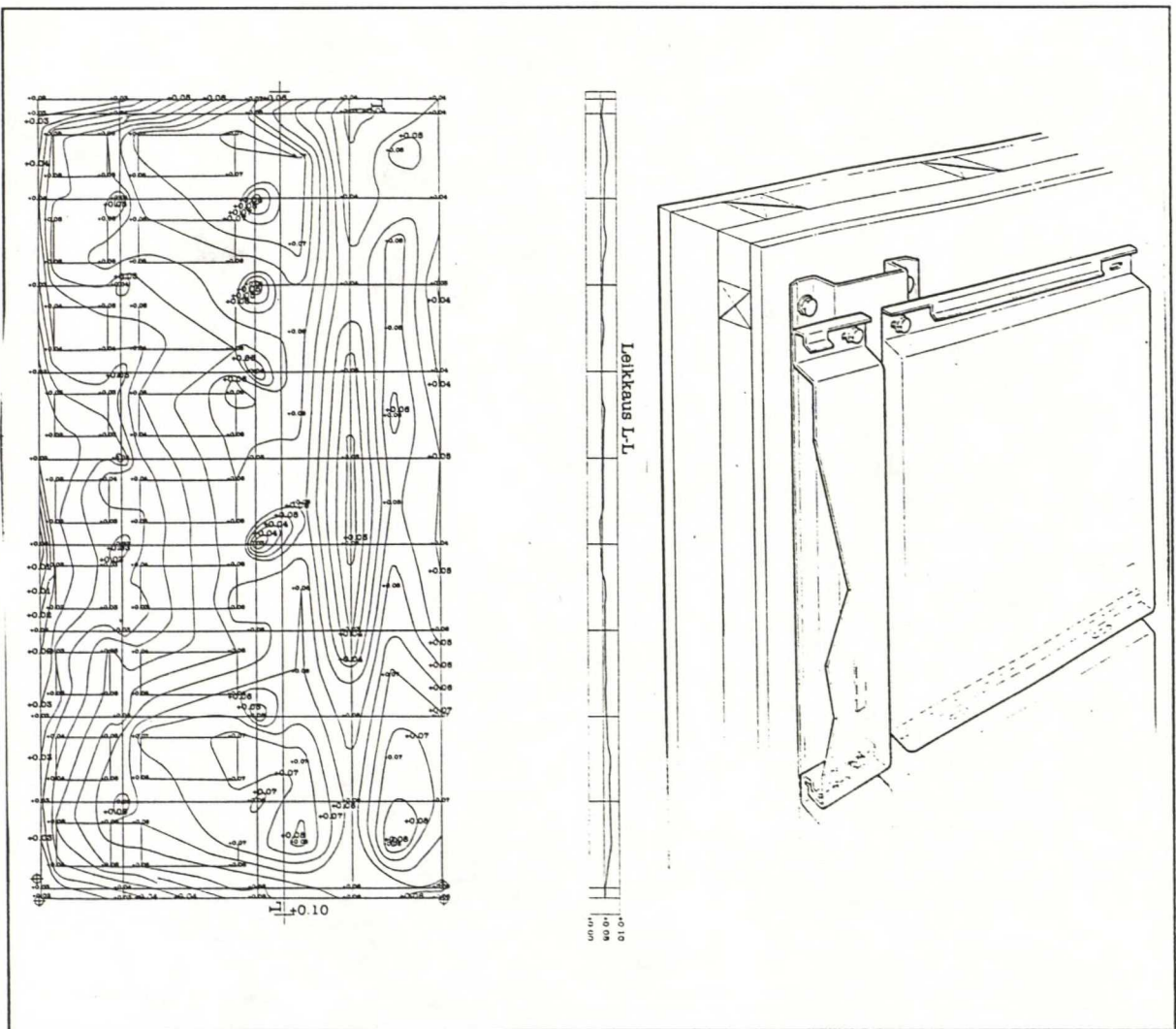
#### 4.3 ELEMENTTIRAKENTEISET JULKISIVUNKORJAUSMENETELMÄT

Julkisivukorjauksissa käytetään pienenä elementtejä tai betonisia tiili-, klinkkeri-, rouhe tai betoni-pintaisia tuuletusraollisia ohutkuorielementtejä. Esimerkkinä on Rati-elementtiverhous, koko moduulimitat 12 M-6 M, paino 50...70 kg/m<sup>2</sup>. Elementti kiinnitetään puu- tai metalliverhoukseen ruuveilla. Lämmöneristeenä käytetään kuten muissakin tuuletusraollisissa rakenteissa mineraalivillaa suojattuna tuulensuojalevyllä tai jäykällä tuulensuojaeristeellä. Elementit voivat olla limittämättömiä (votsi) tiilielementtejä tai ½-kiven limityksellä olevia sormireunaisia elementtejä. Rakenne vaatii liikuntasauaman nurkkiin ja aukkojen pieliin, eristetyn ja eristämättömän seinärakenteen rajakohtaan sekä olemassaolevan liikuntasauaman kohdalle. Kulmissa käytetään erillistä kulmaelementtiä tai kulma tehdään lovetuna tai jiirinurkkana. Pinta jälkisaumataan.

Lisäksi markkinoilla on olemassa Monex-kuorielementti, joka on ohuesta ruostumattomin teräksin esijännitetty väribetonista valmistettu kuorielementti. Paksuudet ovat 50, 70 ja 90 mm ja elementtiä voi käyttää 90 mm paksuisena aina kokoon 3000-8000 mm asti. Rakenne kiinnitetään yläreunastaan ripustuksella kantavaan rakenteeseen. Yli 6 metriä pitkät elementit kiinnitetään lisäksi rakenteen keskeltä.

Palazzo on väribetonista valmistettu kuituvahvisteinen betonilevy, joka kuuluu samaan tuoterhyhmään kuin Rati ja Monex. Levyn paksuus on 30 mm ja koot 600-600...1200-1200 mm. Suurimmat kappaleet vahvistetaan kahteen suuntaan esijännitetyillä ruostumattomilla jännelangoilla lämpöliikkeiden hallitsemiseksi ja pinnan käyristymisen estämiseksi.





Kuva 4.1 Vasen kuva: Betonielementtijulkisivun takymetrillä tehdyn tasomaisuusmittauksen tulos. Oikea kuva: Libertà 200 kasetti piilokiinnityksellä. Kasetti kiinnitetään yläreunasta, jolloin kiinnikkeet jäävät piiloon yläpuolelle tulevan kasetin alle. Pystysaumot voivat olla avo- tai pus- kusaumoja /29/.

Elementtirakenteinen korjausmenetelmä on tuuletusraallinen rakenne, jolloin kriittisiä kohteita ovat tuuletusraon yhtenäisyys, saumat, kulmat, ikkunoiden ja ovien pielet sekä liittymät sokkeli- rakenteeseen. Elementin verhouksmateriaalien, laattojen ja saumaussmassan tulee olla pakkasen- kestäviä.

Rati-elementti on palamaton, jolloin pintaverhouksmateriaaleista annetut palomääräykset eivät rajoita sen käyttöä. Rati-elementti soveltuu kohteeseen, johon halutaan tiiliverhouksen ulkonä- kö. Vanhojen rakennusten mitat eivät välttämättä sovi elementin mittoihin, kriittisiä kohtia ovat kulmat ja nurkat. Rati-elementillä toteutettu rakenne on ohuempi kuin oikea tiiliverhous (tiilielementin paksuus 37 tai 40 mm), jolloin ikkunat ja aukot eivät tule niin syvälle julkisivuun. Lisäksi elementti on tiilimuurausta nopeampi asentaa.

#### 4.4 ERISTERAPPAUS

Eriste- eli lämpörappauksessa eristeenä voidaan käyttää joko mineraalivillaa tai solupolystyreeniä. Mineraalivillan kanssa käytetään pinnoituksessa yleensä epäorgaanisia, mineraalisia ja solu- polystyreenin kanssa orgaanisia materiaaleja.

Mineraalivillan pinnoituksessa käytettävä rappaus on yleensä kalkkisementtilaasteista tehty kolmikerrosrappaus. Rappauksen lujitteena käytetään sinkittyä ja hitsattua teräsverkkoa, joka asennetaan lämmöneristeen päälle. Rakenne on palamaton. Rappauksen tulee saada liikkua vapaasti suhteessa vanhaan rakenteeseen. Rappausvaippa liikkuu ja kannatetaan lämmöneristeen ja joustavien, nivelellisten kiinnityshelojen yhteistoiminnan avulla, jolloin alkuperäisen seinän liikkeet, painumiset, kutistumat ja laajentumat eivät siirry uuteen rappausvaippaan, eivätkä uuden rappausvaipan lämpö- ja kosteusliikkeet siirry vanhaan rakenteeseen. Kolmikerrosrappaus vaatii liikuntasaumot uuden rappauksen ja vanhan rakenteen liittymäkohtiin, pysty- ja vaakasaumoihin noin 15 metrin välein sekä ikkuna, parveke ja oviliittymiin. Ikkuna- ja ovipielidetallit voidaan tehdä ohutpinnoitettavalla pellillä tai rappamalla. Rappausjärjestelmiä ovat esimerkiksi Parmiterm ja Serporock. Lämpörappaukset ovat yleisin menetelmä rappauspintaisten menetelmistä.

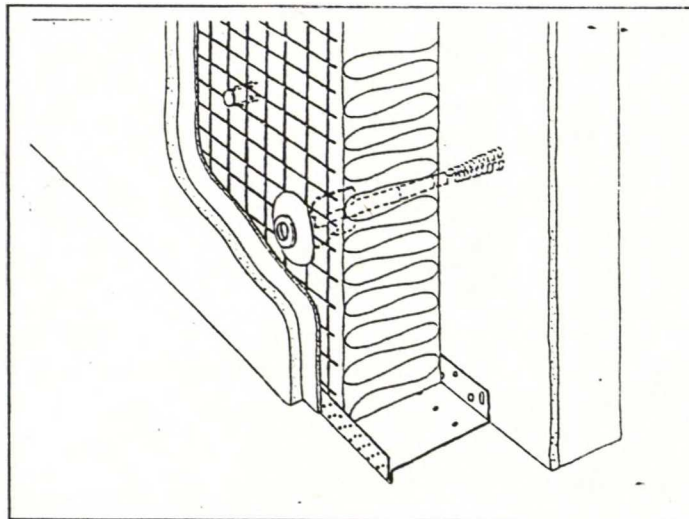
Rapatuissa julkisivuissa korjaus lämpörappauksella ei muuta rakenteen arkkitehtuuria, syvyyserot ikkunan ja sokkelin kanssa kuitenkin kasvavat kuten kaikissa muissakin menetelmissä.

Rakenteeseen aiheuttaa kosteusrasituksia viistosade sekä sisäpuolelta tuleva kosteusrasitus. Rappauspinta on avoin eli se imee sadeveden mutta kosteus ei kulkeudu kapillaarisesti suurihuokoisempaan eristeeseen. Sisäpuolelta tuleva kosteus saattaa kondensoitua rappauspintaan hetkittäin talviaikana, josta se imeytyy kapillaarisesti rappaukseen.

Lämpötilanvaihtelut aiheuttavat rakenteeseen lämpöliikkeitä ja jännityksiä. Termisiä rasituksia voidaan pienentää käyttämällä vaaleita värisävyjä. Rappauspinnan väri vaihtelut ovat tyypillisiä epäorgaanisille rappauksille. Rappauspinnan likaantuvuus riippuu pinnan karkeudesta ja ympäröivistä olosuhteista. Pinta voidaan pestä harjaamalla tai painepesurilla.

Rakenne on altis mekaanisille vaurioille rakenteen maanpäällisissä kerroksissa, nurkissa ja seinäosissa. Rappauksen paikkakorjaus on vaikea tehdä niin, ettei se erotu vanhasta rakenteesta.

Rakenteen vauriot ovat suunnittelu- työ tai huoltovirheitä. Liikuntasaumojen puute aiheuttaa rappauksen halkeilua, rakenteeseen tulee asentaa ikkunan kulmiin diagonaaliverkko halkeilun estämiseksi. Sokkelin kohdalla maanpinnan alapuolelle tai lähelle maanpintaa ulotettu rappaus imee maasta kosteutta, joka jäätyessään vaurioittaa rappauksen ja irrottaa pintakerroksen. Vedenpoistojärjestelmän vauriot ja virheellisesti asennetut ja vaurioituneet ikkunoiden, räystäiden tai kiinnikkeiden vesipellit sekä parvekekaadot aiheuttavat veden kulkeutumisen rappauksen pintaan, jolloin voi syntyä pakkasvaurioita



Kuva 4.2 Lämpörappaus mineraalivillaeristeellä /15/.



## 4.5 ALKALOINTI

### 4.5.1 PASSIIVINEN ALKALOINTI

Betonin raudoitteiden passivoituminen ja aktivoituminen on ns. reversiibeli ilmiö, eli aktiivinen korroosiotilassa oleva raudote voi passivoitua uudelleen, jos raudoitteiden ympäristöolosuhteet palautetaan passivoitumiselle otollisiksi. Korroosio, joka on käynnistynyt betonin karbonatisoitumisen seurauksena voidaan pysäyttää ja raudoitteen passiivitila voidaan palauttaa kohottamalla rakenteen alkaalisuutta. Uudelleenalkaloituminen voidaan toteuttaa passiivisesti päällystämällä rakenne portlandsementtipohjaisella tuotteella. Karbonatisoituneen alkuperäisen rakenteen ja uuden kerroksen alkalisuuserot (hydroksidi-ionin  $\text{OH}^-$  -konsentraatioerot) tasaantuvat ja karbonatisoituneen betonin alkaalisuus kohoaa vähitellen, alkaloituneen kerroksen tunkeutumisen ollessa muutamia millimetrejä kuukaudessa. Alkaloitumista tapahtuu myös karbonatisoitumattoman taustabetonin suunnasta /40/.

Uudelleenalkalointi säilyy kunnes pintakerros on läpikarbonisoitunut. Pinnoitteen karbonisoiduttua hiilidioksi tunkeutuu ja karbonisoituminen jatkuu uudelleenalkaloituneessa betonissa. Pinnoitteen tulee olla tiivis ja riittävän paksu ( väh. 10...20 mm) pitkäaikaiskestävyyden varmistamiseksi. Ruiskubetonikerros ulommaisena rakenteena pysäyttää karbonisoitumisrintaman etenemisen alusbetonissa ja estää kosteuden kulkeutumista alusrakenteeseen. Kuivamenetelmällä tehty ruiskubetonointi on sopivin, betoni on tiivistä ja hitaasti karbonisoituvaa alhaisen vesisementtisuhteensa ( $< 0.5$ ) ja suuren sementtimääränsä ja lujuutensa (K50...K70) ansiosta.

Ruiskubetonin ollessa normaalibetonia huomattavasti lujempaa, kerroksen ja alusbetonin erilaiset lämpö- ja kosteusmuodonmuutokset saavat aikaan pintojen välille jännityksiä, jotka saattavat johtaa halkeiluun ja pinnan irtoamiseen. Ruiskubetonikerros lisää rakenteen painoa 30...70  $\text{kg/m}^2$ , ruiskutuspaksuudesta riippuen.

Kuivaruiskumenetelmässä, kuivaseos (sementti ja runkoaine sekä lisäaineet ) kuljetetaan paineen avulla letkua pitkin suuttimeen, jossa ruiskuttaja sekoittaa veden, jolloin vesisementtisuhteen säätö tapahtuu käsin. Ruiskutus vaatii erillisen kuivaruiskutuskaluston ja ammattimiehet, sillä betonin lujuus ja tarttuvuus ovat riippuvaisia ruiskuttajan ammattitaidosta ja tuntumasta laitteeseen ja ruiskutettavaan materiaaliin.

Ruiskubetonia on käytetty julkisivukorjauksissa vasta lähinnä sokkelien ja tukimuurien korjaamiseen. Paksu ruiskubetonikerros (35 mm) vaatii rakenteen vahvistukseksi ruostumattoman teräs-betoniverkon, joka ankkuroidaan kantavaan rakenteeseen. Materiaaleina voidaan käyttää sementtipohjaisia betoneja, polymeerimuunnosbetoneja tai polymeerisementtibetoneja. Ruiskutus tapahtuu kahtena kerroksena, ensimmäisellä kerralla ruiskutetaan ns. kynnet tartunnaksi toiselle kerrokselle.

Ruiskubetonin pinta on karkea roiskepinta, pintaa voidaan kuitenkin jälkikäsitellä esimerkiksi leikkaamalla tai hiertämällä. Käsitelyissä on aina kuitenkin riski tartunnan häiriintymiselle. Pinnan ulkonäköä voidaan parantaa erillisellä pinnoituskäsittelyllä, kuten slammauksella tai oikaisulaastilla. Pigmenteissä on ongelmana pinnan värin tasaisuus. Pinnan paksuuden ja vesisementtisuhteen vaihtelut aiheuttavat rakenteen epätasaista kuivumista ja pigmenttien määrän ja pinnan värin vaihtelua.

Ruiskubetonoitavan pinnan tulee olla huolellisesti puhdistettu, hiekkapuhallettu ja esikostutettu. Ruiskubetonointi vaatii betonin tapaan jälkihoidon, joka on aloitettava heti pinnan kestäessä

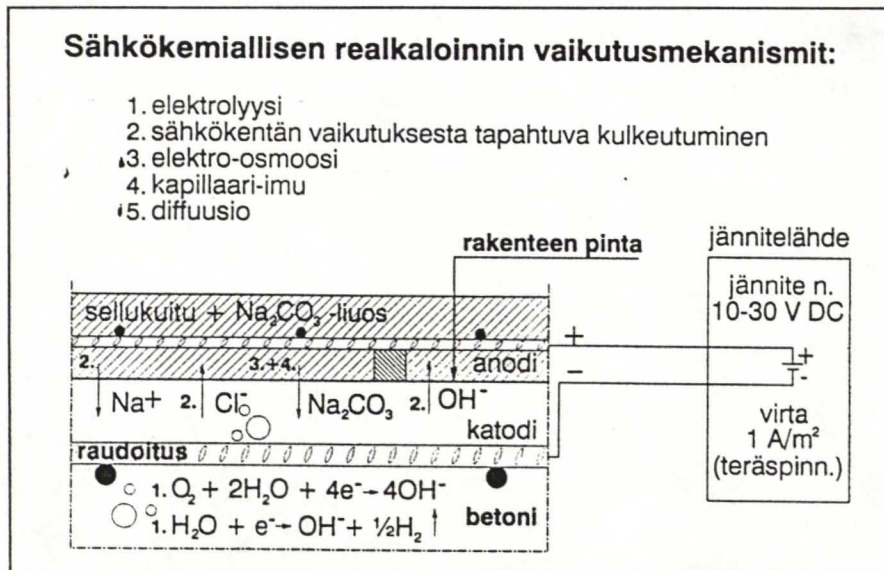


vesisumutuksen kutistumisesta aiheutuvan halkeilun estämiseksi. Jälkihoidossa. pinta peitetään muovilla ja pintaa kastellaan.

Ruiskubetonointi soveltuu julkisivun korjauksiin ja passiiviseen alkalointiin betonipintaisiin elementteihin. Tulevaisuuden kehityskohteena on betonin ruiskutus suoraan eristelevyn päälle, jolloin rakenne vastaisi kolmikerrosrappausta tai ohutrappausta. Menetelmässä on kehitettävää jälkihoidossa ja saumarakenteiden käsittelyssä. Rakennetta on käytetty lähinnä koekohteissa, joten se on vasta tulossa markkinoille /11, 40/.

#### 4.5.2 SÄHKÖKEMIALLINEN UDELLEENALKALOINTI

Betonin alkaalisuus voidaan palauttaa myös aktiivisella käsittelyllä, jossa karbonatisoituneeseen betoniin siirretään heikon sähkövirran avulla alkalisia yhdisteitä, jotka kohottavat karbonatisoituneen betonin pH:ta. Sähkövirta saa aikaan elektro-osmoosi-ilmiön, jossa alkalista elektrolyyttiä, natriumkarbonaatin  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  vesiliuosta kulkeutuu liuoksena betonin huokosiin. Elektrolyytti on yleensä 1-molaarista, jolloin liuoksen pH on noin 11.4. Sähkövirran vaikutuksesta raudoituksessa tapahtuu katodireaktioita ja muodostuu alkaalisia hydroksidi-ioneja.



Kuva 4.3 Sähkökemiallisen uudelleenalkaloinnin vaikutusmekanismit. Elektrolyytissä olevat positiiviset ionit kulkeutuvat sähkökentän vaikutuksesta negatiivisen navan eli raudoitukseen suuntaan, jolloin rakenteeseen siirtyy alkaalisia ioneja. Uudelleenalkaloituminen tapahtuu rakenteen huokosvedessä /40/.

Alkaalinen liuos tunkeutuu elektro-osmoosin avulla vain karbonatisoituneeseen betoniin, tunkeutuminen karbonatisoitumattomaan betoniin on vähäistä. Rakenteen natriumin määrä kohoaa lähtöarvosta, yleensä noin  $1 \text{ kg/m}^3$  noin  $5 \dots 7 \text{ kg/m}^3$ .

Sähkökemiallinen uudelleenalkalointi voidaan toteuttaa joko selluvilla- tai kasettimenetelmällä. Selluvillamenetelmässä rakenteen pintaan kiinnitetään metalliverkko, joka toimii anodina. Verkko peitetään 3...5 cm paksulla selluvillaruiskutuksella, johon on kyllästetty natriumkarbonaattiliuosta. Käsittävän rakenteen raudoitukseen tehdään sähköinen yhteys paljastamalla raudoitus ja kytkemällä se jännitelähteen negatiiviseen ja anodiverkko positiiviseen napaan. Liitoskohta laastipaikataan oikosulun välttämiseksi. Jännitteen suuruus on riippuvainen virtapiirin vastuksesta.



ta, virrantiheys on  $1 \text{ A/teräs-m}^2$ . Elektrolyytin tunkeutuessa betoniin vastus alkaa pienetä ja sen johdosta vakiovirran aikaansaamiseksi vaadittava jännite alenee.

Käsittelyn aikana selluvillamassa kostutetaan elektrolyyttiliuoksella ja sähkövirran arvoa seurataan. Käsittelyaika on 3...5 vuorokautta. Käsittelyn jälkeen, pinnan kuivuttua rakenne voidaan pinnoittaa orgaanisella tai epäorgaanisella pinnoitteella.

Alkalointi voidaan suorittaa myös kasetilla, joka kiinnitetään rakenteen pintaan. Kasetti sisältää titaanioksidisen anodiverkon ja täyttöaukot elektrolyyttiliuoksen lisäämistä varten. Kasetissa on teräskehikko ja läpinäkyvä levy, liuoksen kulumisen seuraamiseksi. Kasetin saumat tiivistetään elastisella kuminauhalla, esim EPDM-solukumia ja tiivistemassalla. Menetelmän seurantaan on kehitetty tietokoneohjattu järjestelmä, joka ylläpitää ja säätelee kunkin kasetin virtaa ja jännitettä. Menetelmän on kehittänyt Englannissa Martech Ltd. Suomessa kasettimenetelmää on käytetty vasta kokeiluluontoisesti. Ongelmia on ollut kasetin saumojen tiiveydessä.

Rakenteen raudoituksen tulee olla yhtenäinen, jotta potentiaaliero voi syntyä verkon ja raudoituksen välille. Kiinnikkeiden tulee olla muovisia oikosulun välttämiseksi. Alkalointi vaikuttaa vain niiden raudoitteiden korroosiotilaan, jotka ovat yhteydessä katodiin. Ansaspaarteet eivät yleensä ole yhteydessä muuhun raudoitukseen, jolloin ne jäävät suojaamatta. Menetelmässä virtapiirit jaetaan elementtikohtaisesti, liitäntöjä 2 kpl/elementti, jolloin prosessin onnistumista voidaan seurata kunkin elementin kohdalla erikseen.

Rauditusverkon kiinnikkeiden tulee olla irti anodiverkosta oikosulkujen välttämiseksi. Oikosulku kuivattaa soodaliuoksen ja aiheuttaa eristeeseen palovaaran. Eristeen tulee olla palosuojakäsiteltyä. Ilman korkea lämpötila ja tuuli kuivattavat ja hidastavat alkalointikäsitteilyn vaikutusta ja kuumalla ilmalla pinta onkin kasteltava useammin kuin kerran päivässä.

Uudelleenalkalointi vaatii menetelmän soveltuvuuden varmistamiseksi rakenteen kuntotutkimuksen. Menetelmä ei sovellu pakkasrapautuneelle betonille, betonille, jossa teräkset ovat jo ruostuneet eikä betonille, jossa havaitaan ohuthienäytteestä alkali-silikareaktiota, sillä reaktio kiihtyy alkali-ionien ja kosteuspitoisuuden kasvun johdosta. Lisäksi rakenteen pinnassa ei saa olla teräksiä, suojabetonipinnan paksuuden tulee olla vähintään 15 mm:ä. Betonin kloridipitoisuuden tulee olla alle 0.03 paino-%. Menetelmä ei myöskään sovellu klinkkerilaattapinnaisille elementeille, joissa elektrolyytti voi tunkeutua betoniin vain laattasaumojen kautta.

Uudelleenalkalointikäsitteily on pysyvä käsitteily, huuhtoutumista tapahtuu käsitteilyn jälkeen vain rakenteen pinnassa ( $< 5 \text{ mm}$ ). Käsitteilyn onnistuminen voidaan varmistaa poranäytteistä tehtävillä natriumpitoisuus määrittäyksillä. Käsitteilyn jälkeen suoritettava indikaattoriliuosmittaus antaa epävarman kuvan menetelmän onnistumisesta, sillä reaktio on tapahtunut huokosvedessä, jolloin indikaattorin värjäytyminen ei ole niin voimakasta kuin karbonatisoitumattomassa betonissa.

Uudelleenalkalointi on julkisivunkorjauksessa uusi menetelmä, joka soveltuu 1960 ja 1970-luvun betonipintaisiin elementtitaloihin. Menetelmä on kustannuksiltaan kilpailukykyinen, ensimmäisen koekohteen kokonaishinnan ollessa noin  $500 \text{ mk/m}^2$  (vero 0 %).

#### 4.6 TIILIVERHOUS

Tiiliverhous on tuuletusraallinen rakenne, jossa olemassaolevaan julkisivupintaan kiinnitetään lämmöneriste, paksuus yleensä 50 tai 70 mm. Julkisivumuuraus tehdään poltetusta tai kalkkihiekkatiilestä, verhouksen paksuus on normaalitiilen leveys (NRK) 130 mm sateenpitävyyden vuoksi. Laastina käytetään muuraussementtipohjaisia tuotteita, yleensä M100/600.

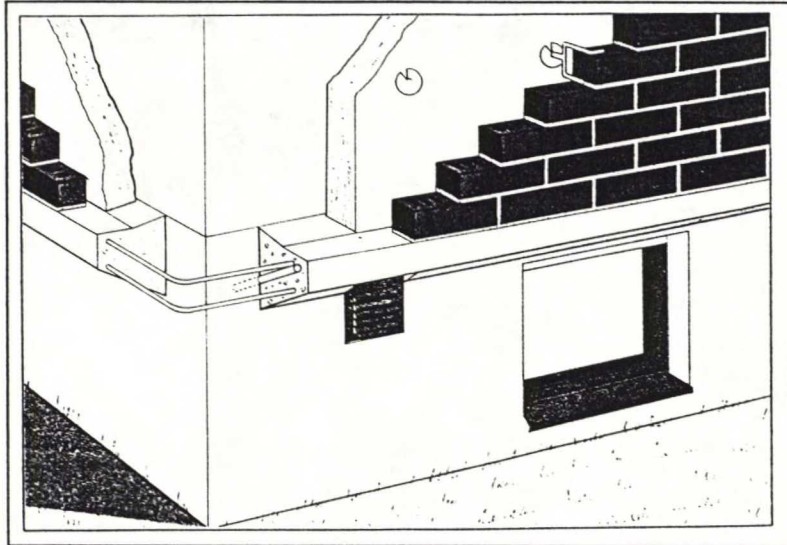


Muuratun rakenteen taivutus- ja vetolujuutta lisätään raudoitteilla laastisaumassa. Kuorimuuri sidotaan runkoon korroosion ja lämpömuodonmuutosten kestäväillä muuraussiteillä, 4 kpl/m<sup>2</sup>. Muuraussiteistä tulee kiinnittää noin puolet sisäkuoreen asti. Lämmöneristeen läpi menevien kiinnikkeiden tulee olla haponkestäviä.

Rakenne vaatii pystysuuntaisen liikuntasauman halkeilun estämiseksi kalkkiahiekkatiilillä 8...10 metrin ja poltetuilla tiilillä 10...15 m välein. Lisäksi eri korkeudella tai epäjatkuvilla rakenteilla kannatetut kuorimuurin osat erotetaan toisistaan liikuntasaumalla.

Muuratut rakenteet ovat palamattomia materiaaleja ja ne kuuluvat palotekniseen luokkaan A. Suurin kuorimuurin rasiustekijä on sää. Tiilirakenteet tuleekin suojata yläpuolelta valuvalla vedellä ja eristää maakosteudelta pakkasvaurioiden välttämiseksi. Vesi saattaa päästä kuorimuurin läpi tuuletusrakoon, josta sen poisjohtaminen tulee huomioida suunnitelmissa.

Tiiliverhous on raskas järjestelmä, painoa täystiilirakenteella on noin 260 kg/m<sup>2</sup>, joten rakenne vaatii erillisen perustusrakenteen ja raskaat telineet työn aikana. Perustusrakenne voidaan tehdä konsoliperustuksena tai piiloperustuksena. Perustukseen porataan vedenpoistoreiät vanhaan rakenteeseen asti. Konsoliperustusta joudutaan käyttämään mikäli julkisivussa on yhtenäinen aukolinja, ikkunoita tai autotallin ovia tms.



Kuva 4.4 Julkisivukorjaus tiiliverhouksella, konsoliperustus /13/.

Julkisivun paksuneminen syventää ikkuna-aukkoja, jolloin rakenteen ulkonäkö ja arkkitehtuuri muuttuvat. Ulkonäöltään tiili soveltuu Suomen olosuhteisiin ja rakennuskantaan, betonirakenteiden ilmettä voidaan muuttaa täysin tiiliverhouksella. Seinärakenteen paksuntaminen kasvattaa rakenteen bruttopinta-alaa, jolloin rakennusoikeuden määrä tulee selvittää suunnittelun yhteydessä. Suunnittelun lähtökohdaksi tulee vanha julkisivu mitata.

Tiilimuurauksessa tuuletusrako voi huolimattoman työn seurauksena täyttyä laastista, joten tuuletuksen vuoksi raon yhtenäisyys tulee varmistaa. Tuuletusraoksi jätetään rakenteen ylä- ja alapäässä joka kolmas pystysauma auki. Verhoiltavan betonielementin kuivuminen ja kosteuden poistuminen voidaan varmistaa poistamalla vaakasaumoista kittaukset tai ulkokuoren elementtiin porataan vedenpoistoreikiä.



Tiili on kestävä, pitkäikäisin julkisivun korjausmenetelmistä. Tiiliverhouksen mekaaninen kestävyys on hyvä ja pinta ei likaannu herkästi. Rakenne ei itsessään vaadi huoltotoimenpiteitä, räystäiden ja vedenpoistorakenteiden huollon ja ylläpidon lisäksi.

#### 4.7 KUSTANNUKSET

Julkisivun korjausmenetelmän kustannusten muodostumiseen vaikuttaa työn määrä, yksityiskohtien määrä julkisivussa, liittyvien rakennustöiden määrä, telineratkaisut ja suojauksen tarve, vuodenaika, paikkakunta, suhdanteet ja kilpailutilanne. Tekijöiden osuus kustannusvaihtelusta on rakentamiskustannuksen ollessa keskimäärin 450 mk/m<sup>2</sup> seuraava

kohteen koko	-50...+50
detaljit	-10...+40
telineet ym.	0...+30
vuodenaika (suojaus)	0...+20
paikkakunta	-30...+60
suhdanteet	-10...+50

jolloin kokonaisvaihtelu on 350...700 mk /15/.

Eri julkisivukorjausmenetelmien hintaan vaikuttavia rakennuskustannuksia on selvitetty yksikköhintalaskelmalla. Osasta edellä kuvatuista menetelmistä on tehty laskelma pohjautuen kohteeseen, jonka ominaisuudet ovat seuraavat:

- 1970-luvun alussa rakennettu 3-kerroksinen pistetalo
- ulkoseinärakenteena on sandwich-elementti
- lisäeristettävän ulkoseinän umpiosa on 1210 m<sup>2</sup>
- ikkunan vesipeltejä on 204 jm, smyygejä 305 jm
- räystäsrakennetta 58 m

Laskelmien kustannustaso on toukokuu 1995 ja kaikkiin korjauksiin sisältyy lisäeristäminen eristyspaksuudella 50 mm:ä. Hankintakustannukset on laskettu tarvikemenekkien ja niiden yksikköhintojen perusteella, tarvikemenekkeihin sisältyy normaali ainehukka. Pellityksen ja kehätelineen kustannuksina on käytetty kohteen urakkatarjouksia.

Työkustannukset on laskettu työmenekkien ja keskituntiansion 56 mk/h perusteella. Muurauksen keskituntiansiona on käytetty 72 mk/h. Työmenekkejä on saatu menekkitiedostoista, urakoitsijoilta ja materiaalin toimittajilta. Sosiaalikulut ovat 65.5 % työkustannuksista ja työmaan yhteiskustannuksina ja rakentajan yleiskuluina on käytetty 25 %:a. Rakennuttajan kuluja, kuten suunnittelu-, rahoitus-, valvonta ja hallintokuluja ei ole laskelmissa huomioitu. Seuraavassa taulukossa laskelman tulokset. Toteutuneiden kohteiden hinnat ovat pääosin 4...6 kerroksisia asuinkerrostaloja.

Taulukko 4.1 Eri julkisivumenetelmien rakentamiskustannukset mk/m<sup>2</sup> (alv 0 %)

Laskettu rakentamiskustannus	Toteutuneet kohteet	
Mineraalieristerappaus	465	395...530
Metallikasetti	531	450...490
Rati-elementti	846	530...655
Steni-julkisivulevy	436	450...500
Tiiliverhous	720	600...800

## 5. LISÄLÄMMÖNERISTÄMISEN VAIKUTUS RAKENTEEN RAKEN- NUSFYSIKAALISEEN TOIMINTAAN

### 5.1 LISÄLÄMMÖNERISTÄMISEN KANNATTAVUUS

Rakennuksen lämmönkulutusta voidaan arvioida laskennallisesti, jolloin rakennuksen vaipan eri osien, yläpohjan, ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien sekä alapohjan lämmönkulutusjakauma laske-  
taan osien pinta-alojen, lämmönläpäisykertoimien ja paikkakunnan astepäiväluvun avulla. Ilman-  
vaihdon lämmönkulutus voidaan laskea talon sisäkuutioiden, ilman vaihtuvuuden, astepäivälu-  
vun ja ilman lämpösisällön avulla. Veden lämmitykseen vaadittava energia voidaan arvioida ve-  
den kulutuksen, lämpimän veden osuuden ja sen lämmitystarpeen avulla.

Asuinkerrostalojen vaipan johtumishäviöt muodostavat lämpöenergian kokonaiskulutuksesta  
keskimäärin hieman yli 40 %, josta ulkoseinien osuus on noin yksi kolmasosa. Vanhassa raken-  
nuskannassa ulkoseinien osuus on keskimääräistä suurempi, eristystason ollessa selvästi huo-  
nompi ja ilmanvaihdon määrän ollessa rakennuksessa pienempi, johtuen alkuperäisestä paino-  
voimaisesta ilmanvaihdosta /15/.

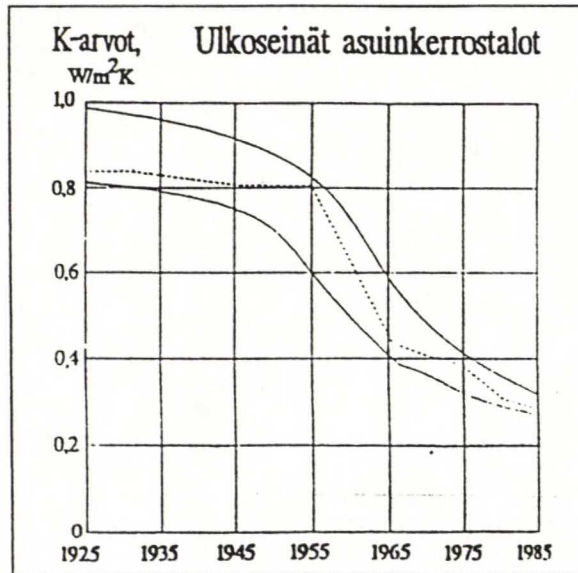
Lähteessä /15/ on tehty laskelmia, joissa todetaan nykyisillä lämpöenergian hinnoilla lisäeristä-  
sen olevan kannattamaton vaihtoehto betonielementtiseinille, mutta kevytbetoniseinille lisäeris-  
täminen saattaa olla kannattavaa. Lämmitysenergian hinnat tulevat tulevaisuudessa todennäköi-  
sesti nousemaan, sillä jo nyt kylmimpinä vuodenaikoina tuotetun ns. huippuenergian kustannuk-  
set ovat 2...3 kertaa korkeammat kuin kuluttajalta perittävä keskimääräinen energian hinta.  
Vaikkei vaurioituneen julkisivun lisäeristäminen ole nykyisillä lämmitysenergian hinnoilla ja  
energiansäästön kannalta kannattavaa, huonetilojen viihtyisyyttä ja rakennuksen ulkonäköä voi-  
daan parantaa sekä rakenteen lisävaurioituminen voidaan estää ulkopuolisella lisäeristyksellä.

Taulukko 5.1 Esimerkkilaskelma, jolla voidaan selvittää taloudellisia eristyspaksuuksia

Lisäeristys, mm	50	80	100	120
Alkuperäinen k-arvo $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$				
Uusi k-arvo	0.311	0.253	0.225	0.203
k-arvon muutos	0.189	0.247	0.275	0.297
Eristeen kustannus mk (sis. ALV)	21.96	35.14	43.92	52.70
Edellisen annuiteetti ( 20 vuotta, 4 %) $\text{mk/m}^2$	1.33	2.60	3.25	3.90
Lämpökustannus $\text{mk/m}^2$	5.35	4.35	3.87	3.49
Vuosikustannus $\text{mk/m}^2\text{a}$	6.68	6.95	7.12	7.39

Taulukon perusteella taloudellisen eristyspaksuus olisi 50 mm:n eriste, joka on valittu laskelmien  
pohjaksi.





Kuva 5.1 Ulkoseinien keskimääräinen lämmönläpäisykerroin rakentamisvuoden mukaan asuin-  
kerrostalossa /35/

Lisälämmöneristys vaikuttaa seinän teoreettiseen k-arvoon. K-arvo kuvaa lämpömäärää watteina, joka siirtyy 1 sekunnin aikana  $1 \text{ m}^2$  kokoisen rakenteen läpi lämpötilaeron ollessa  $1 \text{ K}$ .

Taulukko 5.2 EPS-lisäeristysen vaikutus rakenteen teoreettiseen k-arvoon EPS-eristeen eri paksuuksilla

Vanhan rakenteen k-arvo	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	100 mm
0.3	0.220	0.208	0.198	0.189	0.173
0.4	0.269	0.252	0.238	0.225	0.202
0.5	0.311	0.289	0.270	0.253	0.225
0.6	0.346	0.319	0.296	0.276	0.244
0.7	0.378	0.346	0.319	0.296	0.259
0.8	0.405	0.369	0.338	0.312	0.271
0.9	0.429	0.388	0.355	0.327	0.282
1.0	0.451	0.406	0.369	0.339	0.291

Nykyinen vaatimus asuintalojen ulkoseinien k-arvolle on  $\leq 0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parvekkeet, rakennuksen nurkat sekä ikkunoiden ja ovien liittyminen ulkoseinään toimivat kylmäsiltoina heikentäen lisäeristysen teoreettista eristysvaikutusta jopa 20...50 % /15/.

Taulukko 5.3 Kylmäsiltojen vaikutus todelliseen k-arvoon

Seinän k-arvo	Alkuperäinen 0.40	Lisäeristetty 0.22
Ikkunapielet	+ 0.03	+ 0.02...0.11
Parvekeliittymät	+ 0.015	+ 0.025
Nurkat	+ 0.005	+ 0.005
Keskimääräinen k-arvo	0.44	0.27...0.36

Massiivisilla kivirakenteilla lämmöneristyskyky on teoreettista k-arvoa parempi, johtuen rakenteiden suuresta termisestä massasta. Lisäeristetyt rakenteet kasvavat termisen massan kasvu on pientä, jolloin rakenne seuraa ulkoilman lämpötilan vaihteluja lähes kuten alkuperäinen rakenne, sillä



Fourierin lämmönjohtamisyhtälön (1-dim) mukaisesti johdetussa lausekkeessa rakenteen lämpötilan muutoksesta ulkolämpötilan suhteen lausekkeen termi  $a$  (lämpötilanjohtavuus) vaikuttaa tulokseen eniten ja EPS-eristeen tapauksessa lämpötilanjohtavuus  $a$  on  $1.88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , kun esimerkiksi mineraalivillalla (tiheys  $50 \text{ kg/m}^3$ ) arvo on  $1.333 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ja muuratuilla kevytsoraharkoilla  $437.063 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Rakenteen lisäeristys tulee suorittaa yhtenä kerroksena, jolloin vältetään useiden eristekerrosten väliin muodostuvat luonnolliset ilmavirtaukset, jotka kasvattavat rakenteen lämmönjohtavuutta  $\lambda$  ja heikentävät eristävyttä ideaaliseen tapaukseen verrattuna. Vanhan rakenteen ja lämmön-eristeen väliin huolimattoman asennustyön tuloksena syntyvät raot mahdollistavat myös luonnolliset, lämpötilaeroista johtuvat eristävyttä heikentävät konvektiovirtaukset, mikä tulee huomioda rakenteen asennuksessa. Eristeen asennus voidaan suorittaa seinään joko sisä- tai ulkopuolisena. Sisäpuolinen lisäeristys alentaa ulkoseinärakenteen lämpötilaa, jolloin rakenteen kondensoitumis- ja pakkasvaurioalttius kasvavat. Ulkopuolisen lisälämmöneristeen vaikutus on päinvastainen. Jatkossa käsitelläänkin vain ulkopuolista eristämistä.

Ulkopuolinen lisälämmöneriste nostaa rakenteiden pintalämpötiloja, katkaisee kylmäsilat ja pienentää seinän lämpötilanvaihteluja sekä vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihtoon, riippuen lisälämmöneristämisen yhteydessä tehtävistä toimenpiteistä. Sisäpintojen lämpötilojen noustessa myös huoneen operatiivinen lämpötila nousee ja tilan viihtyisyys paranee, jolloin energiaa voidaan säästää huonelämpötilaa laskemalla. Lisäksi eristys vaikuttaa ulkoseinän ilmapuotoihin ja kulureitteihin sekä rakennuksen painesuhteisiin. Ilmanvaihto voi heikentyä korvausilman ollessa ulkovaipassa olevien ilmapuotokohtien varassa. Rakennuksen sisäiset ilmavirrat voivat muuttua epäedulliseen suuntaan ja korvausilmaa voi tulla esimerkiksi porraskäytävästä kaikkine hajuineen ja epäpuhtauksineen. Ilmanvaihdon tarvitsema korvausilman saanti tuleekin varmistaa lisäeristystyön suunnittelun yhteydessä.

## 5.2 EPS-JÄRJESTELMÄN KOSTEUDENPOISTOKYKY

Julkisivun päällystäminen estää sadeveden tunkeutumisen seinärakenteeseen. Tiivis materiaali toimii seinärakenteelle "sadetakkina" estäen veden pääsyn rakenteen sisäosiin. EPS-ohutrappausrakenteen ulkopinta on tiivis, jolloin rakenteen pintaan muodostuu välittömästi satteen alussa seinän pintaa pitkin alaspäin valuva vesikalvo. Pinnan karkeudesta riippuen vesikalvo on suhteellisen yhtenäinen tai valuu pääasiassa satunnaisesti muotoutuvia uomia pitkin. Mitä karkeampi pinta on, sitä tasaisemmin sadevesi jakaantuu koko julkisivupinnan alueelle.

EPS-ohutrappausrakenteen pinnoituksessa käytettävät materiaalit ja materiaaliarvot vaihtelevat. Materiaalit ovat pääosin polymeerihartsipohjaisia tuotteita, joiden vesihöyrynläpäisevyys ja vedenimukyky on melko pieni, jolloin ulkopuolelta heikosti läpäisevällä materiaalilla eristetyin rakenteen kosteusolosuhteet määräytyvät sisäilmasta tapahtuvasta kosteuden siirrosta. Materiaali katsotaan saksalaisen käytännön mukaan vedenpitäväksi (DIN 18 558 ja 18 550), jos vesihöyrynvastusta vastaava ilmakerroksen vastus on suurempi kuin  $0.5 \text{ 1/m}$ , kapillaarisesti imemän veden määrä pienempi kuin  $0.5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$  ja näiden suhde suurempi kuin 10. Tuotteelle asetettavia vaatimuksia

$$\begin{aligned} w \cdot s_d &\leq 0.2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0.5}) \\ w &\leq 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}) \\ s_d &\leq 2.0 \text{ m} \end{aligned}$$

jossa  $w$  on kapillaarisesti imeytyneen veden määrä  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$   
 $s_d$  on vesihöyrynvastusta vastaavan ilmakerroksen paksuus

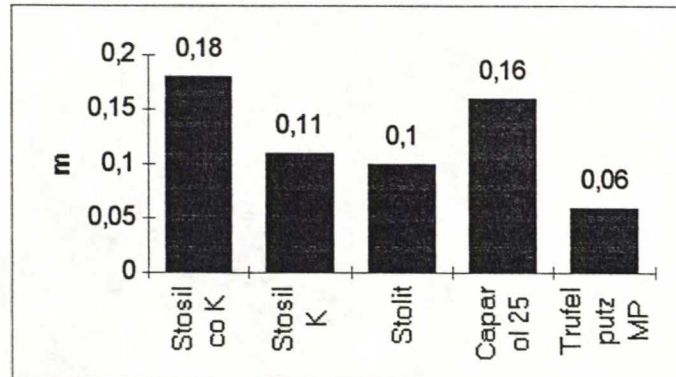


Taulukko 5.4 Eri ohutrappausjärjestelmien materiaalivalmistajien arvoja vedenpitävyyden arvioimiseksi

StoSilco K/R	5.55 l/m $w_{24}$ 0.116 kg/m <sup>2</sup> h <sup>1/2</sup> suhde 48 mh <sup>1/2</sup> /kg
Caparol rappauslaasti	5 l/m $w_{24}$ 0.2 kg/m <sup>2</sup> h <sup>1/2</sup> suhde 25 mh <sup>1/2</sup> /kg
Alsecco mineraalinen rappauslaasti	16.66 l/m $w_{24}$ 0.10 kg/m <sup>2</sup> h <sup>1/2</sup> suhde 167 mh <sup>1/2</sup> /kg

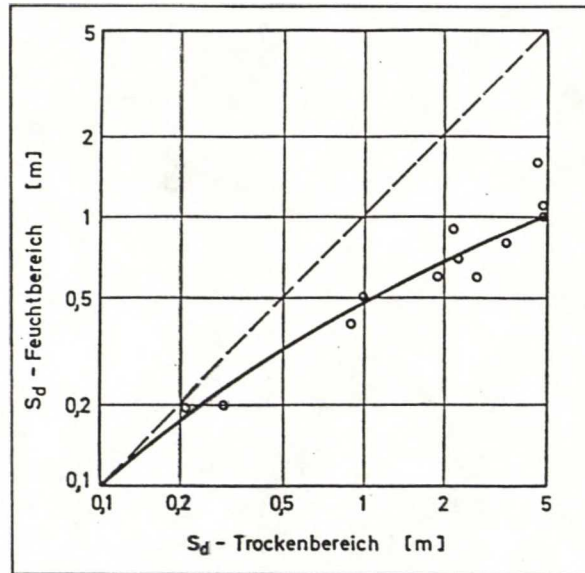
Vertailuna kalkkisementtirappauksen  $w_{24}$  on 2...4 kg/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup> ja tiilen  $w_{24}$  10...25 kg/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>

Vesihöyryn läpäisevyyttä voidaan kuvata verrannollisena ilmakerroksen paksuuteen ( $s_d$ -arvo), jolloin vesihöyrynläpäisykykyä voidaan pitää riittävänä DIN 4108-normin mukaan arvon vastatessa korkeintaan 4 metrin ilmapatsasta /40/.



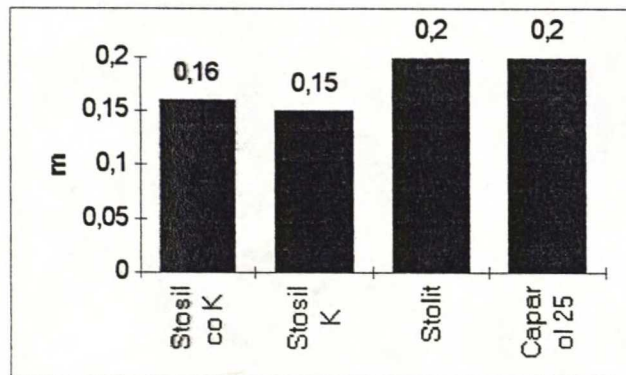
Kuva 5.2 Ohutrappaus tuotteiden vesihöyrynläpäisevyys  $s_d$ -arvona. Vertailun vuoksi tiilimuurin ( paksuus 365 mm )  $s_d$  = 4.4 m, kevytbetonin 0.12 m ja betonin ( paksuus 250 mm ) 20 m.

Mittaukset on suoritettu ns. märkäkuppikokeella. Orgaanisten rappauksen vesihöyrynläpäisevyyssominaisuudet ovat riippuvaisia materiaalin kosteuspitoisuudesta. Synteettistä hartsia (keinohartsia) olevilla rappauksilla vesihöyrynläpäisevyyden muuttuminen kosteuspitoisuuden kasvaessa on riippuvainen materiaalin orgaanisen sidospartikkelien määrästä. Kuva 5.3 havainnollistaa eroa.



Kuva 5.3 Vesihöyrynläpäisevyyden  $s_d$ -arvon riippuvuus mittaustavasta ja kosteuspitoisuudesta keinohartsia olevalla rappauksella. Vaaka-akselilla on  $s_d$ -arvo mitattuna kuiva-kuppi kokeella, jossa ilman kosteuspitoisuus vaihtelee välillä 0 ... 50 % ja pystyakselilla  $s_d$ -arvo mitattuna märkä-kuppi kokeella, jossa ilman kosteuspitoisuus vaihtelee välillä 50 ... 95 %. Rappauksella on kuivissa olosuhteissa suurempi vesihöyryn vastustuskyky, suurempi  $s_d$ -arvo kuin kosteissa olosuhteissa. Mineraalisilla rappauksilla ei vastaavaa eroa ole [21/].

Pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyyttä voidaan arvioida myös diffuusiovastuksen  $R_{H_2O}$  perusteella. Pinnoitteen vesihöyryn läpäisevyyttä pidetään riittävänä diffuusiovastuksen ollessa pienempi kuin 4 m. Vertailuna esim. betonin kerroin on 28 ja kevytbetonin 1.4.



Kuva 5.4 Ohutrappaustuotteiden vesihöyrynläpäisevyys diffuusiovastus  $R_{H_2O}$ -arvona

Lisäeristetyn rakenteen rakennusfysikaalista toimivuutta arvioidaan diffuusioteoriaan perustuvala tiivistymistarkastelulla. Rakennusfysikaalisissa laskuissa käsinlaskumenetelmille on yhteistä olosuhteiden ja aineominaisuuksien suhteen tehtävät yksinkertaistukset. Käsinlaskumenetelmässä tutkitaan stationääritilassa rakenteeseen tiivistyvän kosteuden määrää epäedullisimmissa käyttöolosuhteissa. Mikäli vesihöyryn tiivistymistä sallitaan, vuositasolla arvioidaan muuttuvissa olosuhteissa tiivistyneen kosteuden poistumisvarmuutta ja määrää  $g/m^2$ .

Tiivistymistarkastelussa lasketaan, saavuttaako vesihöyryn osapaine jatkuvuustilassa kyllästysarvonsa rakenteen kerrosten rajapinnassa. Menetelmä soveltuu sellaisten tapausten käsittelyyn,



joissa kondenssi rajapinnassa on rakenteen kosteusfysikaaliselle toimivuudelle kriittistä ja joissa ympäristöolosuhteet ovat vakiot riittävän pitkään.

Vesihöyryn kyllästyspaineiden laskemiseksi kerroksellisen rakenteen rajapintojen lämpötilat stationääritilassa saadaan kaavalla

$$t_i = t_s - \frac{\sum m_i}{\sum m} (t_s - t_u) \quad \text{kaava (5.1)}$$

jossa  $t_s$  on sisäilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\sum m_i$  on rakenteen lämmönvastus rajapinnan  $i$  ja sisäpinnan välillä ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )  
 $\sum m$  on rakenteen kokonaislämmönvastus

Sisäpinnan pintavastuksena on käytetty arvoa  $m_s$  on  $0.16 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja ulkopinnalla  $m_u$  on  $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Lämpötiloja vastaavat vesihöyryn kyllästyspaineet saadaan kaavalla

$$p_{hs} = \frac{\exp(77,345 + 0.0057T - 7235/T)}{T^{8.2}} \quad \text{kaava (5.2)}$$

jossa  $T$  on kostean ilman lämpötila ( $\text{K}$ )

Vesihöyryn osapaine kerroksellisen rakenteen rajapinnassa saadaan kaavalla

$$p_i = p_s - \frac{\sum r_{si}}{\sum r_k} (p_s - p_u) = p_s - [\sum r_{si} / \sum (d_i / k_{di})] (p_s - p_u) \quad \text{kaava (5.3)}$$

jossa  $p_s$  on sisäilman vesihöyryn osapaine ( $\text{Pa}$ )  
 $p_u$  on ulkoilman vesihöyryn osapaine ( $\text{Pa}$ )  
 $\sum r_{si}$  on sisäpinnasta tiivistymiskohtaan olevien kerrosten vesihöyryn vastuksien summa ( $\text{m}^2\text{sPa/kg}$ )  
 $\sum r_k$  on kerrosten vesihöyryn vastuksien summa  
 $d_i$  on ainekerroksen paksuus  
 $k_{di}$  on vesihöyrynjohtavuus ( $\text{kgm/m}^2\text{sPa}$ )

Vesihöyrynjohtavuuden määrittäminen perustuu standardoituun dry/wet-cup kokeeseen, jolloin mitattu kosteusvirta sisältää määrittyskosteudesta riippuen myös pintadiffuusioita ja kapillaarista liikettä, jolloin vesihöyrynjohtavuus edustaa tavallaan määrittysolosuhteissa kokonaiskosteudensiirtymistä.

Kosteutta tiivistyy rakenteeseen vesihöyryn osapaineen ylittäessä kyllästyspaineen. Vesihöyrystä tiivistyy kyllästysvesimäärän ylittävä osa, josta tosin osa höyrystyy uudelleen ja siirtyy rakenteen läpi. Tiivistymisen oletetaan tapahtuvan rakenteen ainekerrosten välisessä rajapinnassa, jolloin rakenteeseen jäävää kosteutta voidaan arvioida kaavalla

$$g_{kond} = \frac{p_s - p_{hs}}{\sum r_i} - \frac{p_{hs} - p_u}{\sum r - \sum r_i} \quad \text{kaava (5.4)}$$

jossa  $p_{hs}$  on tiivistymiskohdan lämpötilaa vastaava kyllästyspaine

Kaavassa oletetaan, että tiivistymisvyöhykkeessä ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on 100 % ja tiivistyvä kosteus mahtuu tiivistymisvyöhykkeelle ja tiivistynyt kosteus ei liiku esimerkiksi kapillaarivoimien vaikutuksesta. Kuivumiskauden aikana kaava 5.4 antaa negatiivisen tuloksen.

Aikavälillä  $dt$  tiivistyvä kokonaismäärä saadaan kaavalla

$$G = g_{\text{kond}} dt$$

kaava (5.5)

Tiivistyvä kosteusmäärä on laskettu kuukauden aikavälein vuoden ympäri Sodankylän olosuhteiden normaalikauden 1961...1990 kuukausikeskiarvoja käyttäen.

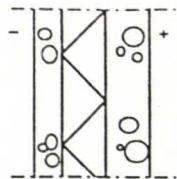
Sisäilman kosteus saadaan kaavalla

$$C_s = C_u + \frac{G}{n \cdot V} (1 - e^{-nt})$$

kaava (5.6)

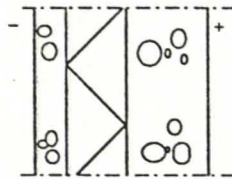
jossa	$C_s$ on sisäilman kosteus	(g/m <sup>3</sup> )
	$C_u$ on ulkoilman kosteus	(g/m <sup>3</sup> )
	$G$ on kosteustuotto	(g/h)
	$n$ on ilmanvaihtuvuus	(1/h)
	$V$ on huoneen tilavuus	(m <sup>3</sup> )
	$t$ on aika	(h)

Laskelmissa kaavan jälkimmäisen termin on korvannut vakioarvo 4 g/m<sup>3</sup>, joka vastaa tiloja, joissa esiintyy runsasta vedenkäyttöä ja ilmanvaihto on vähäistä; esimerkiksi asuntojen keittiöt ja pesuhuoneet. Rakenteiden materiaaliarvoina on käytetty lähteen /37/ arvoista laskelman kannalta vaarallisin lukuarvo, jolloin ollaan laskelmissa ns. varmalla puolella. Materiaaleina on käytetty kolmen suuren saksalaisen toimittajan tuotteita, Ston ja Captect:in (Dispotherm) ja Alsecon. Mitoituspaikkakunnaksi on valittu Sodankylä vaativimpien olosuhteiden vuoksi. Kuvassa 5.5 on laskelmissa käytetyt seinärakenteet.



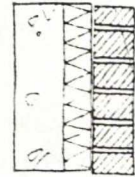
Julkisivuelementti (1967)  
 $k = 0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$

Seinä 1 Julkisivuelementti

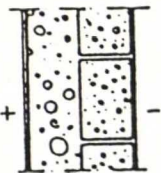


Kantava päätyelementti (1967)  
 $k = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

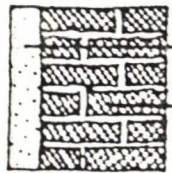
Seinä 2 Kantava päätyelementti



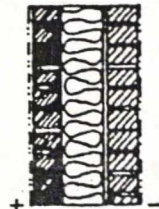
Seinä 3 Betoni-min. villa-tiili



Seinä 4 Betoni-Siporexseinä



Seinä 5 Siporex-tiiliseinä



Seinä 6 Tiili-eriste-tiiliseinä

Kuva 5.5 Laskelmissa käytetyt seinärakenteet



Taulukko 5.5 Laskelmissa käytettyjen rakenteiden materiaaliarvoja

Materiaali	Lämmönjohtavuus $\lambda$ (W/mK)	Vesihöyrynläpäisevyys $\cdot 10^{-12}$ kg/msPa
Betoni	1.7	12
Tiili	0.7	42
Siporex	0.1	42
EPS (50 mm)	0.041	6
Mineraalivilla	0.05	105
Verkkolaasti Dispotherm/ Sto/Alsecco	0.7 / 0.7 / 0.87	5.02 / 6.7 / 47.2
Pinnoite Dispotherm/ Sto/Alsecco	0.7 / 0.7 / 0.87	3.45 / 1.42 / 9.44

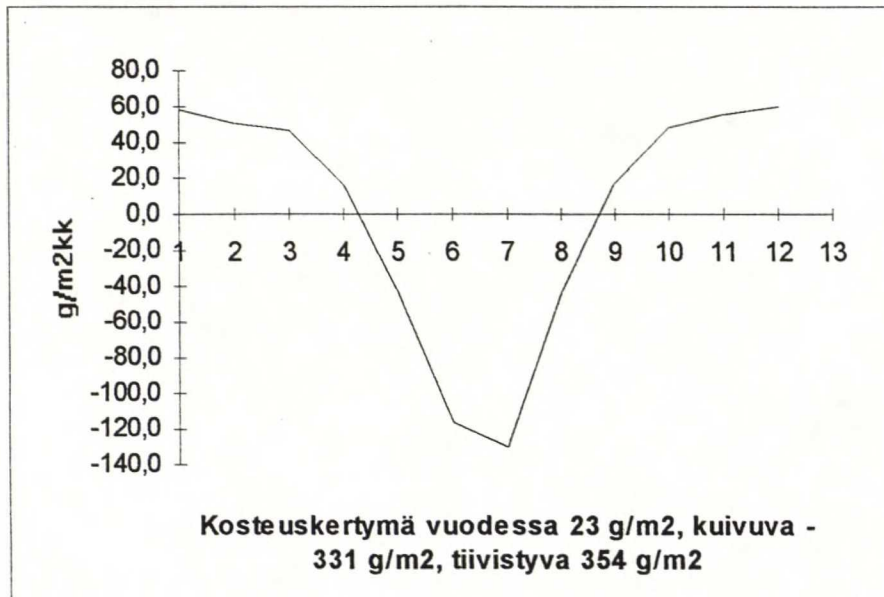
Liimalaastia ei huomioitu rakennusfysikaalisissa laskelmissa, sillä laastin peittäessä vain osan eristeen pinnasta ei vesihöyryn kululle muodostu estettä.

Taulukko 5.6 Diffuusiolaskelmien tuloksia eri seinärakenteille. Dispothermin/Sto:n/Alsecon tuotteet. Materiaalipaksuudet on laskettu materiaalivalmistajien ilmoittamien keskimääräisten materiaalinienekkiä avulla

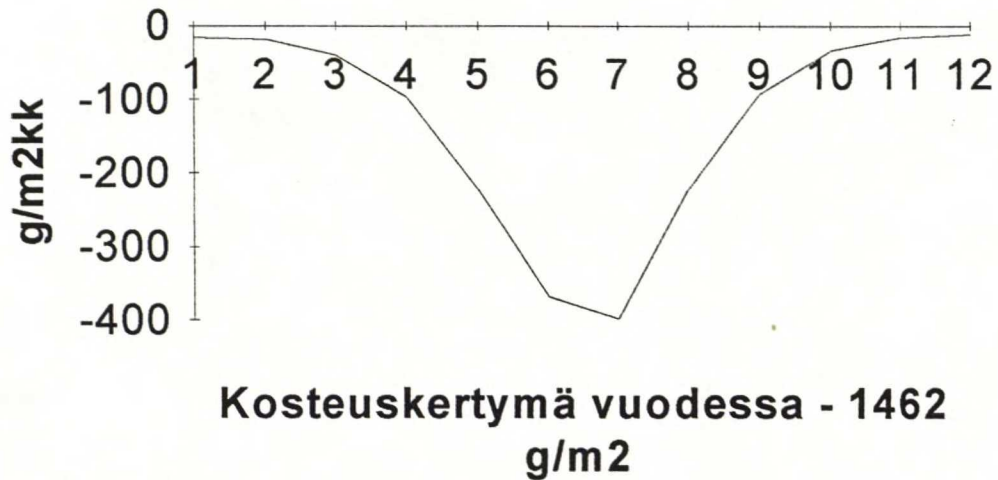
Seinärakenne + EPS 50 mm	Tiivistyvä kosteus g/m <sup>2</sup>	Kuivuva kosteus g/m <sup>2</sup>	Vuositas, poistuva kosteus g/m <sup>2</sup>
Seinä 1 Betonisandwich	kaikilla 0	-2886 / -1462 / -13185	-2886/-1462/-13185
Seinä 2 Betonisandwich	kaikilla 0	-2967 / -1492 / -13325	-2967/-1492/-13325
Seinä 3 Betonisandwich	kaikilla 0	-2857 / -1365 / -13073	-2857/-1365/-13073
Seinä 4 Betoni-Siporex	kaikilla 0	-2963 / -1468 / -3066	-2963/-1468/-3066
Seinä 5 Siporex-Tiili	0 / 88 / 0	-2913 / -1310 / -13867	-2913/-1222/-13867
Seinä 6 Tiili-Eriste-Tiili	0 / 95 / 0	-2806 / -1285 / -13073	-2806/-1190/-13073

Taulukon arvojen perusteella voidaan todeta rakenteiden kuivumisessa selvä ero eri materiaalien välillä. Saaduilla materiaaliarvoilla suoritettujen laskelmien perusteella kaikilla materiaaleilla suoritettut lisäeristämiset ovat kosteusteknisesti toimivia ja rakenteita kuivattavia. Erot arvojen välillä johtuvat Ston pinnoitteen vesihöyrynvastuksesta, joka on yli 2 kertaa suurempi verrattuna Dispothermin pinnoitteeseen,  $Sto\ 2.11 \cdot 10^9$  m/s vs. Dispotharm  $0.87 \cdot 10^9$  m/s. Vuositasolla poistuvan kosteuden määrän eron muihin materiaaleihin aiheuttaa Alsecon tuotteilla verkkolaastin pieni vesihöyrynvastus, joka on  $0.08 \cdot 10^9$  m/s, eli vielä kertalukua pienempi kuin Dispotharmilla. Kuitenkin Alsecon tuotteilla saavutettaviin poistuvan kosteuden määriin tulee suhtautua varauksella, sillä todellisuudessa rakenteesta ei vuoden aikana vastaavaa kosteusmäärää poistu, rakenteen alkukosteuspitoisuudenkin asettaessa jo reunaehdoja. Verrattaessa määriä muihin tuotteisiin voidaan todeta rakenteen kuivuvan huomattavasti muita nopeammin.

Seuraavissa kuvissa vertaillaan rakenteeseen 1 tiivistyviä ja kuivuvia kosteuksia ennen ja jälkeen EPS-50 mm lisäeristeen asentamista Sodankylän olosuhteissa. Rappausmateriaalina Sto:n tuotteet.



Kuva 5.6 Alkuperäisen rakenteen kosteuseräytymä vuoden tarkastelujakson aikana



Kuva 5.7 Rakenteen 1 kosteuseräytymä vuoden tarkastelujakson aikana 50 mm EPS-eristeen ja ohutrappauksen jälkeen. Negatiivinen arvo tarkoittaa rakenteesta poistuvaa kosteutta

Laskentatulosten riippuvuus materiaalikerrosten kosteudensiirto-ominaisuuksista ja materiaalikerrosten paksuudesta on voimakasta erityisesti pintarappauksen kohdalla, jossa materiaalipaksuuden kasvattaminen kolmesta neljään millimetriin pienensi rakenteesta kuivuvan kosteuden määrää keskimäärin noin 20 %, betonisandwichrakenteissa betonin kosteudenläpäisevyyden arvon kaksinkertaistaminen pienensi rakenteen kuivumista keskimäärin noin 10 %.

Diffuusiotarkastelun suorittaminen käsinlaskumenetelmällä aiheuttaa virheitä lopputulokseen rakennneosien materiaalien lämpö- ja kosteusfysikaalisten ominaisuuksien puutteellinen tunteminen ja yksinkertaistus, sekä oletus yksilotteisesta virtauskentistä ja homogeenisista rakennusosista. Materiaalien vesihöyrynläpäisevyyden riippuvuutta kosteuspitoisuudesta ja kapillaarista kosteuden siirtymistä sekä faasimuutosten vaikutusta lämpötilajakaumaan ei laskelmissa huomioida, lisäksi rakenteen kosteuskapasiteettia ei oteta huomioon, joka varsinkin massiivirakenteilla johtaa varmuuteen tiivistymisen suhteen /12/.



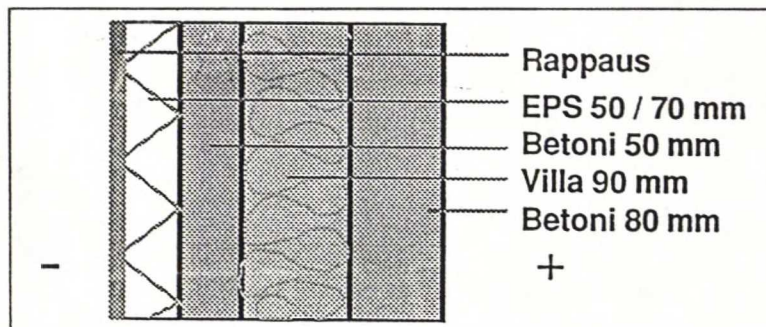
Lisäksi lämpötilakäyrä eri rakennekerroksissa oletetaan suoraviivaiseksi eli lämmönjohtavuus oletetaan vakioiksi, lämmönjohtavuuden vaihdellessa todellisuudessa kosteuden mukana. Alkukosteuspitoisuuden arvioinnissa materiaalien rakennusaikaisen kosteuden oletetaan poistuneen, jolloin korjausrakentamiskohteessa ei tehdä virhettä.

Ympäristöolosuhteet (lämpötila, ilman kosteus) on arvioitu kuukausikeskiarvojen perusteella, jolloin sateen ja auringon säteilyn vaikutusta ei oteta huomioon. Auringon säteilyn kuivattavan vaikutuksen jättäminen pois laskun reunaehdoista asettaa rakenteen rasitetumpiin olosuhteisiin ja lisää laskentatarkastelun varmuutta. Ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden kosteuskäyttäytymisen kannalta tärkeimpiä ovat pidempien ajanjaksojen kosteuspitoisuuden keskiarvot, sillä kosteuden sitoutuminen aineisiin ja siitä johtuvilla seurannaisvaikutuksilla on suuri viive, eivätkä hetkittäiset ilman kosteuden vaikutukset oleellisesti vaikuta rakenteisiin.

Laskentamenetelmän oletus ei hygrooskooppisesta lämmöneristeestä soveltuu keveille aineille, kuten mineraalivillalle ja solumuoville, joten lämmöneristeiden osalta laskentavirhe on pieni. Laskentamallin oletusta kosteuden siirtymisestä pelkästään diffuusiivisesti soveltuu solupolystyreenille, sillä materiaalin kapillaarinen kosteudenimukyky on olematon, jolloin kosteuden siirtymistä kapillaarisesti ei ole tarpeen ottaa huomioon.

VTT:n suorittamien laskelmien mukaan ulkopuolisella solupolystyreenilämmöneristeellä varustettu rakenne /16/ on kosteusteknisesti toimiva, sillä rajapintaan kostumisjaksolla keräytyvä kosteus kuivuu, jolloin ns. nettokeräytymää ei muodostu ja kosteuspitoisuus ei saavuta rakenteelle kriittistä kosteuspitoisuutta (60 p-%, kun  $T < 0^{\circ}\text{C}$ ). Laskelmat oli tehty TRATMO-tietokoneohjelmistolla, jonka fysikaalinen malli ottaa huomioon kosteuden varastoitumisen, vesihöyryn diffuusion ja konvektion sekä veden kapillaari- ja hydraulivirtauksen. Lisäksi lämmönsiirron malliyhtälössä otetaan huomioon lämmönjohtuminen, konvektio ja varastoituminen sekä lämmön vapautuminen ja sitoutuminen faasimuutoksessa /16/.

VTT on suorittanut laskelmia myös TCCC2D ohjelmalla, jossa rakenteen (kuva 5.8) kosteusteknistä toimintaa mallinnettiin noin kahden vuoden (720 vrk) jakson aikana alkaen syyskuun 1. päivästä.



Kuva 5.8 Laskennassa tarkasteltu rakenne /49/.

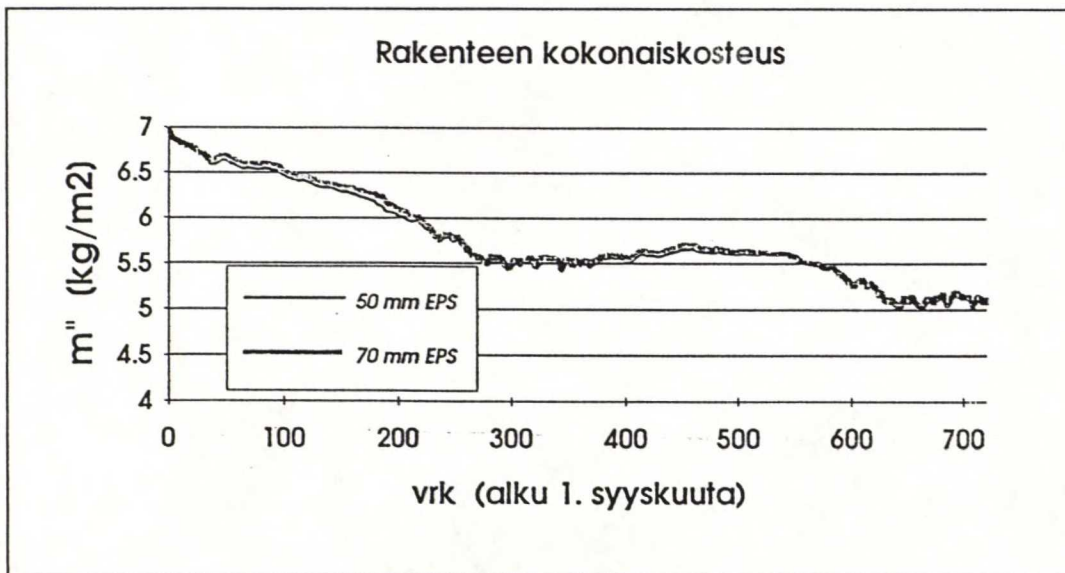
Taulukko 5.7 Materiaalikerrosten lämpötekniset ominaisuudet

Materiaali	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Lämmönjohtavuus (W/mK)	Alkukosteus kg/kg
Rappaus	1800	1.0	0.02
EPS	20	0.034	0.02
Villa	20	0.0345	0.05
Betoni	2300	1.3	0.025 (uloin kerros) 0.020 (sisempi kerros)
Kevytbetoni	500	0.15	0.06

Laskennan rappausmateriaalit ovat Sto:n tuotteita. Solupolystyreenin arvot perustuvat mittauksiin. Lisäksi VTT on suorittanut seinää 4 vastaavalle rakenteelle rakennusfysikaaliset laskelmat Dispothermin tuotteilla.

Rappauksen vesihöyrypitoisuudelle oletettiin lievä riippuvuus suhteellista kosteutta vastaavasta materiaalin tasapainokosteudesta. Laskelmat on tehty vuoden 1979 säätiedostolle olettaen tarkasteltava seinärakenne pohjoispuolen seinäksi, joka on kokonaan varjossa. Laskelman sisäilman lämpötila ja vesihöyryn osapaine on pidetty vakioina (+20 °C ja 900 Pa vastaten noin 38.5 % RH). Viistosade on kuvattu asettamalla rappauskerros hygroskooppista kyllästystilaa (100 % RH) vastaavaan kosteuteen aina kun ulkoilman suhteellinen kosteus ylitti 92 % ja lämpötila oli > 0 °C.

Laskennan tuloksena rakenteen kokonaiskosteus aleni tarkastelujakson aikana 7 kg/m<sup>2</sup> arvosta hieman yli 5 kg/m<sup>2</sup> arvoon. EPS-eristeen kosteudet pysyivät 0.06 kg/m<sup>2</sup>, joka vastaa noin 0.12 til-% kosteuspitoisuutta. Laskelmissa on merkillepantavaa seikka, että sade ei aiheuttanut eristerakroksen kosteuden lisääntymistä, koska vesihöyryn ja lämpötilan osapainegradientit kuivattivat lähes koko jakson rakennetta ulospäin. EPS-rakenteeseen ei kertynyt edes hetkellisesti kosteusmääriä, joita voitaisiin pitää rakenteen toiminnan kannalta liian korkeina /49/.

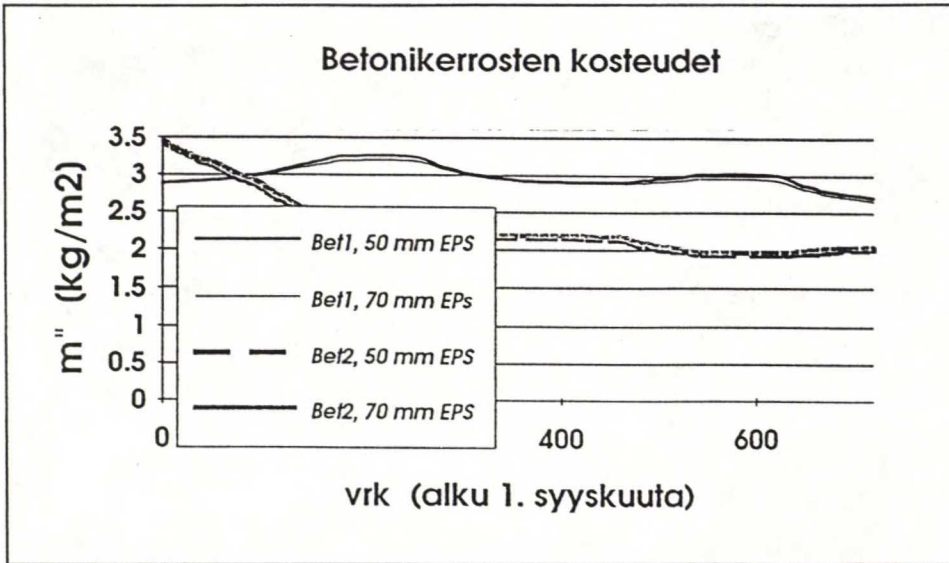


Kuva 5.9 Betonisandwich-rakenteen kokonaiskosteus kahden vuoden tarkastelujakson aikana /49/.

Betonikerrokset kuivuivat laskennassa eri tavalla. Sisempi betonikerros (2) kuivui voimakkaasti saavuttaen tasapainokosteuden noin 1 paino-% koko kerroksessa. Ulompi kerros (1) kuivui



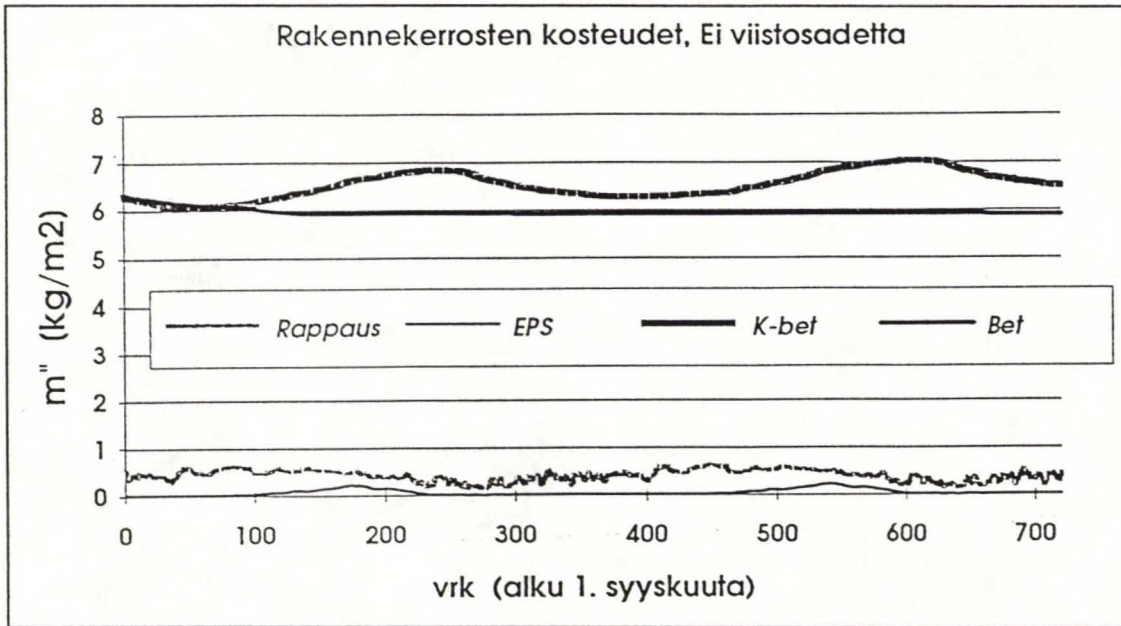
vasta toisena tarkasteluvuotena, jolloin sisempi kerros ei enää siirtänyt kosteutta ulospäin. Lämmöneristeen paksuuden muutoksella 50 mm:stä 70 mm:iin vaikutti sisemmän betonikerroksen kuivumiseen vähäisessä määrin ja uloimman betonikerroksen kuivumiseen edistävästi, sillä kohonnut lämpötilataso edesautti kuivumista.



Kuva 5.10 Rakenteen betonikerrosten kosteudet kahden vuoden laskennallisen tarkastelujakson ajan

Verrattuna Sto:n tuotteisiin diffuusiotarkastelulla tehtyihin laskelmiin betonisandwich-rakenteesta kuivumalla poistunut kosteus vuoden tarkastelujakson aikana oli  $1.46 \text{ kg/m}^2$ , joka vastaa VTT:n suorittamien laskelmien mukaista kokonaiskosteuden poistumista ensimmäisen vuoden tarkastelujakson jälkeen. Arvot eivät ole suoraan vertailukelpoisia, mutta suuntaa-antavia.

Betoni-siporex rakenteessa EPS-kerroksen kosteudet olivat ensimmäisen vuoden aikana talvikauden lopulla suurimmillaan rakenteelle asetetun alkukosteuden kuivuessa rappauksen kautta. EPS-kerroksen suurimmat kosteuspitoisuudet olivat n.  $0.85 \text{ kg/m}^2$ , mikä vastaa eristekerroksen  $17 \text{ kg/m}^3$  ( $1.7 \text{ til-\%}$ ) keskimääräistä kosteuspitoisuutta. Kosteuspitoisuudet ovat tavanomaisia verrattuna esimerkiksi routaeristeisiin, eikä kosteus vaikuta olennaisesti EPS:n lämmöneristekykyn. Toisena vuotena EPS:n kosteuspitoisuudet laskivat, vuoden lopulla kosteuspitoisuudet olivat lähellä  $0 \text{ kg/m}^2$ , vertaa kuva 5.11.



Kuva 5.11 Betoni-siporex rakenteen rakennekerrosten kosteudet kahden vuoden laskennallisen tarkasteluna aikana

Verrattuna Dispothermin tuotteilla tehtyihin laskelmiin betoni-siporex rakenteen kuivumalla poistunut kosteus oli  $2.96 \text{ kg/m}^2$ , mikä on hiukan suurempi kuin VTT:n laskelmien mukaan rakenteesta poistunut kokonaiskosteus, n.  $2.4 \text{ kg/m}^2$ . Ensimmäisen vuoden aikana kevytbetonikerroksesta poistui kosteutta n.  $1.55 \text{ kg/m}^2$ . Diffuusiota tarkastelun arvo on vertailukelpoisempi kevytbetonikerroksesta poistuneen kosteuden kanssa. Erot johtuvat materiaalien erilaisista lähtöarvoista ja laskentamallin eroavaisuuksista.

Rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavuodot ovat haitallisempia kosteusteknisen toiminnan kannalta kuin diffuusion kuljettama kosteus, sillä konvektion mukana siirtyvät kosteus on usein moninkertainen diffuusiolla siirtyvään kosteuteen nähden. Ilmavuodossa on kyse paikallisista vuodoista, jotka johtuvat ilmanpitävässä kerroksessa olevista epäjatkuvuuskohdista kuten saumoista, raoista ja läpivienneistä. Ilmavuotojen merkitystä kuvaa seuraava taulukko, jossa on laskennallisesti määritetty rakenteen läpi diffuusiona ja ilmavuotojen mukana siirtyvät kosteusmäärät. Lähtökohtana on Keski-Ruotsin talvi-ilmast, sisäilmaston suhteelliseksi kosteudeksi on oletettu 50 % sekä rakenteen yli vaikuttavaksi paine-eroksi 50 Pa.

Taulukko 5.8 Kaasubetonirakenteen läpi diffuusion ja konvektiolla siirtyvien kosteusmäärien vertailu /16/.

Rakenne	Tiivistyvä kosteus ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ )	
	diffuusio	ilmavuodot
Homogeeninen kaasubetoni	$13 \cdot 10^{-8}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$
Ladottu kaasubetoni, harkkorakenne	$13 \cdot 10^{-8}$	$406 \cdot 10^{-8}$
Kaasubetonielementti, leveys 500 mm, elementtien välissä halkeamat		
0.2 mm	$13 \cdot 10^{-8}$	$11 \cdot 10^{-8}$
1 mm	$13 \cdot 10^{-8}$	$920 \cdot 10^{-8}$

Halkeamat ja raot eivät vaikuta diffuusiona siirtyviin kosteusmääriin kun taas ilmavuotojen mukana siirtyvät kosteusmäärät kasvavat kertaluokkia suuremmaksi.



Kosteus, joka tiivistyy ohuena vesi- ja jääkerroksena lämmöneristeen kylmälle puolelle ei juuri heikennä rakenteen lämmöneristävyttä. Jos kosteus jakaantuu paino-, kapillaari- tai jonkin muun voiman vaikutuksesta tasaisesti lämmöneristekudokseen, voi lämmöneristekyky alentua suuresti edellisen kohdan mukaisesti. Lämpötilaero lämmöneristeen ero puolien välillä voi vaihdella esimerkiksi vuorokauden eri aikoina. Auringon säteilyn vaikutuksesta lämmöneristeen ulkopuolen lämpötila voi nuosta sisäpuolen lämpötilaa korkeammaksi, jolloin kosteus siirtyy aurinkoisten tuntien ajan sisäänpäin.

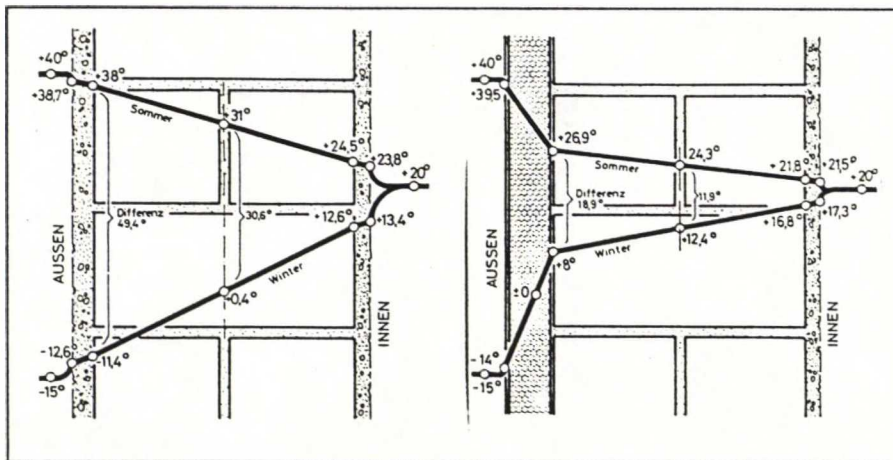
### 5.3 EPS-OHUTRAPPAPUSJÄRJESTELMÄN RAKENNUSFYSIKAALINEN KELPOISUUS

Massiivisten rakenteiden julkisivun korjaaminen EPS-levyohutrappausrakenteella on rakennusfysikaalisesti toimiva ratkaisu. Kosteus jakaantuu eristettävässä rakenteessa uudelleen, kuivuminen alkaa rakenteen sisäkerroksista ja siirtyy yleensä toisen vuoden aikana rakenteen pintakerrokseen. Rakenteeseen ei muodostu vuositasetarkastelussa kosteuskeräytymää, useimmissa rakenteissa ei edes kuukausitasolla laskettaessa kuukauden keskimääräisillä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoilla.

### 5.4 LISÄERISTÄMISEN VAIKUTUS RAKENTEEN VAURIOIHIN

Kosteus heikentää eristeiden lämmöneristyskykyä ja vaikuttaa pinnan likaantuvuuteen ja pinnoitteiden kestävyys. Kosteuspitoisuuden vaihtelut aiheuttavat rakenteissa muodonmuutoksia ja kosteus on osatekijänä pakkasrapautumisessa ja raudoitteen korroosiossa. Terästen korroosiota voidaan estää poistamalla yksi korroosioon vaikuttavista tekijöistä; betonin karbonatisoituminen ja emäksisyyden aleneminen, happipitoisuus ja elektrolyytti eli rakenteen kosteus. EPS-ohutrappaus estää korroosion jatkumisen pienentämällä rakenteen kosteuspitoisuutta alle korroosion mahdollistavan pitoisuuden. Kosteuspitoisuuden muutos on sandwich-elementin ulko-kerroksessa suurempi kuin sisäkerroksessa, ulkopinnan elementin lämpötilan vaihtelualueen muuttuessa suhteellisesti enemmän kuin sisäpuolen elementin, vertaa seuraava kuva 5.12.

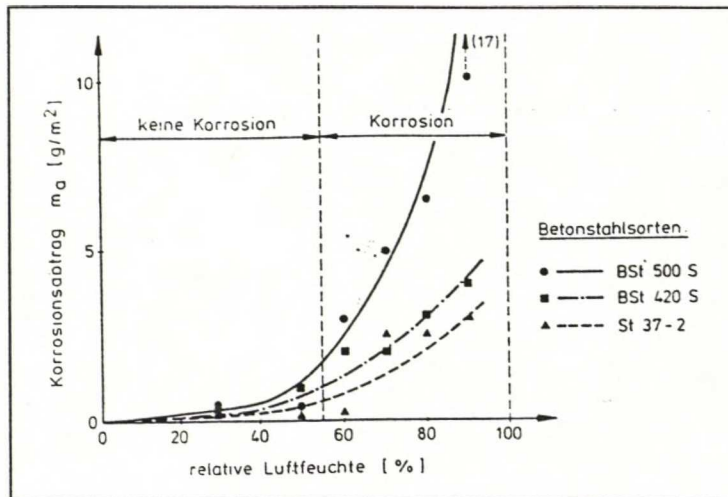
EPS-ohutrappausmenetelmän kapillaarinen vedenläpäisy on alhainen, EPS-eristeen kapillaarinen vedenimukyky on olematon, jolloin vettä ei imeydy eristeen kautta rakenteeseen. Yhdessä lämpötilan 0 pisteen siirtymisen kanssa rakenteen pakkasrapautumariski poistuu. Lisäksi rakenteen lämpötilan vaihteluista aiheutuvat muodonmuutokset pienenevät alkuperäisen rakenteen lämpötilanvaihteluiden tasaantuessa.



Kuva 5.12 Lämpötilan vaihtelut kesäpäivänä alkuperäisessä (rappaus+tiili) ja eristetyssä rakenteessa. Pinnan lämpötila kesällä on 40 °C ja talvella -15 °C. Rakenteen lisäeristäminen pien-

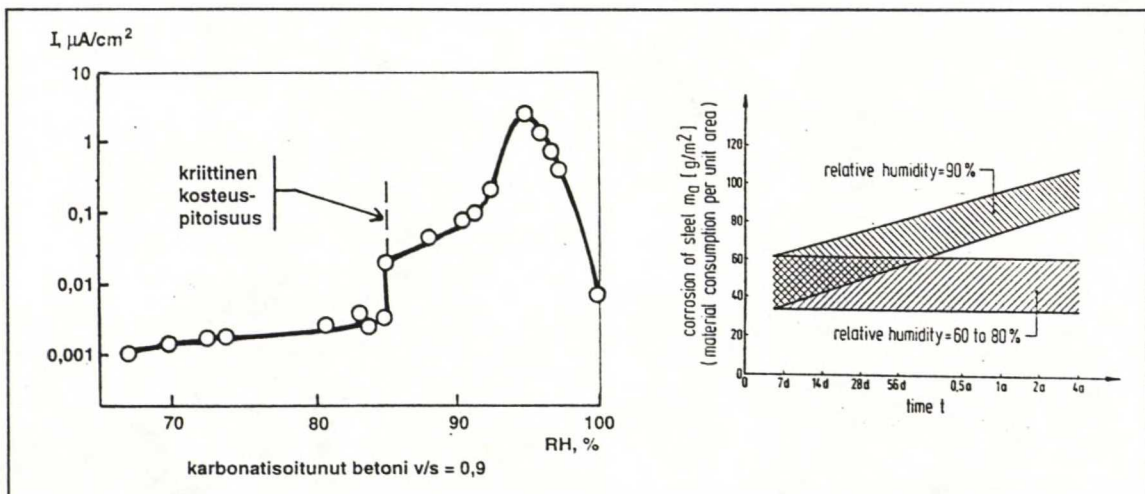
tää alkuperäisen rakenteen ulkopinnan lämpötilanvaihteluja 49.4 asteesta 18.9 asteeseen. Vastaavilla lämpötiloilla rakenteen 1 uloimman elementin lämpötilanvaihtelut muuttuvat 53 asteesta 31.6 asteeseen. Sisemmällä elementillä lämpötilan vaihtelut muuttuvat 4.7 asteesta 3.1 asteeseen.

EPS-ohutrappausmenetelmällä lisäeristetyin rakenteen hiilidioksidin läpäisyvastus kasvaa, jolloin karbonatisoituminen hidastuu. Pinnoitteilla luokitellaan olevan karbonatisoitumissuojaa, jos hiilidioksidin läpäisyvastus vastaa yli 50 metrin korkuista ilmakerrosta. Esimerkkinä Caparolin  $s_{dco2}$  on alle 10 metriä. Alkuperäistä rakennetta suojaavat pinnoitteen lisäksi myös kiinnityslaasti ja eristelevy, jolloin vastus on koko rakenteella pinnoitteen arvoa suurempi. Lisäksi rakenteen hapen läpäisyvastus kasvaa, jolloin terästen korroosio hidastuu. Rakenteen kuivuminen vaikuttaa terästen korroosionopeuteen, suhteellisen kosteuspitoisuuden alentuessa terästen korroosio hidastuu. Ilman kosteuspitoisuus vaikuttaa terästen korroosioon kuvan 5.13 mukaisesti



Kuva 5.13 Ilman suhteellisen kosteuden vaikutus raudoituksena käytettävien terästen korroosioon teollisuusilmastossa /30/.

Karbonatisoituneessa betonissa korroosion käynnistävä kosteuspitoisuus on suurempi. Betonirakenteissa ei esiinny korroosiota suhteellisen kosteuden arvoilla 40-70 %. Korroosio käynnistyy suhteellisen kosteuden noustessa yli 80 % :n.

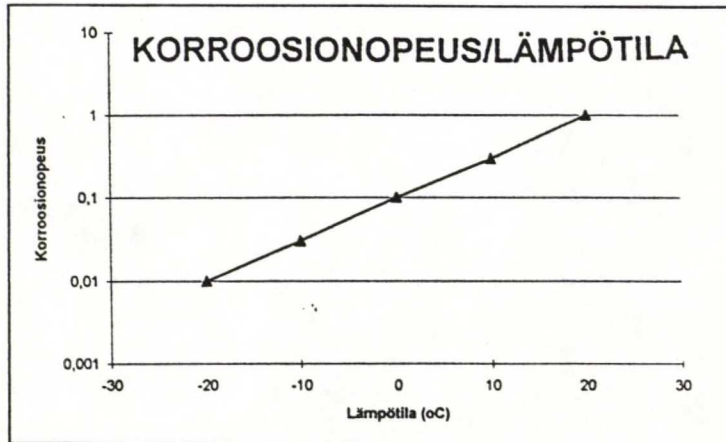


Kuva 5.14 Betonin suhteellisen kosteuden vaikutus terästen korroosionopeuteen ja raudoitusteträksen massan pienentymiseen suhteellisesta kosteudesta riippuen karbonatisoituneessa teräksessä neljän vuoden aikana / 20/.



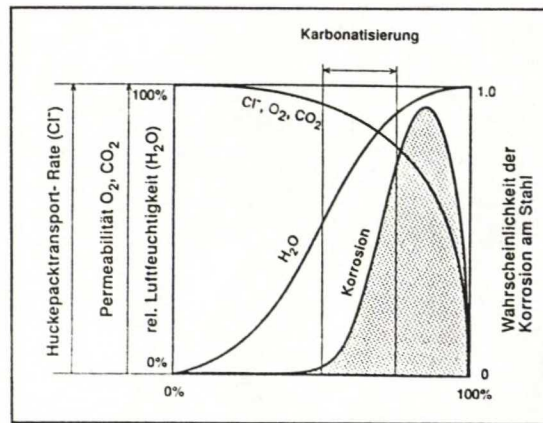
Lähteen [20] tutkimuksissa kiihdytetyllä karbonatisoitumisreaktiolla neutraloituneet betonikapaleet raudoitusteräksin säilytettiin erilaisissa suhteellisissa kosteuspitoisuuksissa ja neljän vuoden tutkimusten jälkeen 60 ja 70 % suhteellisen kosteuden arvoilla peruskorroosion määrä ei muuttunut. 80 % kosteuspitoisuudella korroosiomäärä muuttui vain hiukan, 90 % pitoisuudella korroosio kasvoi voimakkaasti. Tutkimustulosten mukaan betonin suhteellisen kosteuden pysyessä alle 80 % korroosio voidaan pysäyttää raudoitusteräksestä riippumatta.

Rakenteen lämpötilojen nousu vaikuttaa myös teräksen korroosionopeuteen



Kuva 5.15 Lämpötilan vaikutus terästen korroosionopeuteen [40]

Korroosioparametrien yhteisvaikutusta selventää seuraava kuva.



Kuva 5.16 Eri tekijöiden  $O_2$ ,  $CO_2$  ja kosteuspitoisuuden yhteisvaikutus terästen korroosioon. Vaaka-akselilla betonin kosteuspitoisuus ja pystyakselilla teräksen korroosion todennäköisyys [54].

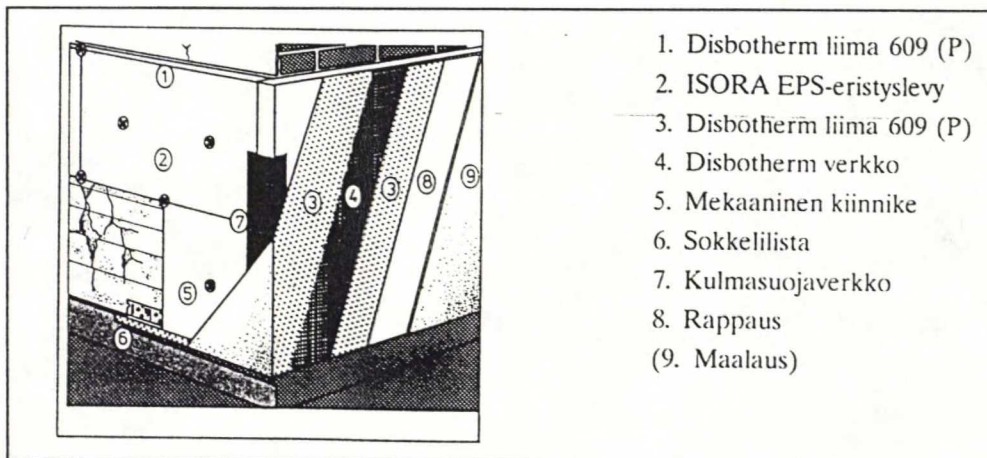
Rakenteen lisälämmöneristäminen EPS-ohutrappausjärjestelmällä estää betonin korroosion jatkumisen, jolloin karbonatisoitunut betoni, jossa raudoitusteräokset ovat ruosteessa kokonaan tai osittain, voidaan päällystää ilman rakenteelle tehtäviä korjaustoimenpiteitä, ellei rakenteen stabiilisuus ole vaarantunut terästen kantokyvyn heikkenemisen myötä. Näin säästytään alkuperäisen rakenteen korjauksilta ja rakenteen käyttöikä voidaan pidentää vaurioitumismekanismien olleessa estetty, joka yhdessä lämpöenergian kulutuksen vähenemisen kanssa on taloudellinen ratkaisu.

## 6. EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄ

### 6.1 RAKENNE

Järjestelmä muodostuu jäykästi alustaan liimalaastin ja mekaanisin kiinnikkein kiinnitetystä erikoiskäsittelystä solupolystyreenilevystä, jonka päällä on lasikuituverkolla vahvistettu ohut (5...8 mm) rapattu pintarakenne. Rappaus koostuu mineraalipohjaisesta hydrofobisesta laastista ja varsinainen pintakerros, paksuus 1.5...3 mm, keinohartsista. Rakenne soveltuu julkisivun kunnostamiseen ja lisäeristämiseen sekä uudisrakentamiseen erityisesti kiviainespohjaisille julkisivupinnoille, kuten tiili-, kalkkihiekkakivi-, kevytbetoni- ja betonipinnoille. Rakennetta on käytetty Keski-Euroopassa vuodesta 1959, yli 300 miljoonaan m<sup>2</sup>:n verran. Lisäksi järjestelmä on käytössä Ruotsissa, Norjassa, USA:ssa, Kanadassa, Japanissa ja Kauko-Idässä /7,8,54/.

Pisimmät käyttökokemukset rappausmateriaaleista ovat keinohartsista, mineraalirappaukset ovat tulleet markkinoille 1960-luvun puolivälissä, silikaatti- ja silikonisidonnaiset tuotteet ovat tulleet 1980-luvulla. EPS:n lisäksi lämmöneristeenä on käytetty vuodesta 1975 mineraalivillaa, erityisesti korkeissa rakennuksissa palomääräysten vuoksi.



Kuva 6.1 EPS-ohutrappausjärjestelmä, Dispotharm System 600, joka on ollut käytössä lähinnä Keski-Euroopassa vuodesta 1965 /48/.

Suomessa rakenne on suhteellisen uusi, ensimmäiset kohteet on tehty 1980-luvun lopulla Isora Oy:n toimesta. Tuolloin menetelmän nimenä on ollut Dispotharm-System 600 lisäeristysjärjestelmä tai Isora-eristerappausjärjestelmä. Kohteet ovat olleet 2-kerroksinen asuinrakennus Lappeenrannassa 1988, Isora Oy:n Röykän tehtaan konttorirakennus, yksikerroksinen liikerakennus Porvoossa 1989 ja Tampereen yliopistollisen sairaalan Z1-rakennus 1992, joka on ensimmäinen palonkestäväksi luokiteltu rakennus, jossa kyseistä menetelmää on käytetty. Kohteiden seinäpinta-ala on yhteensä noin 1120 m<sup>2</sup>.

### 6.2 PALOTURVALLISUUS

Suomen rakentamismääräyskokoelma luokittelee rakennustarvikkeet palaviin ja palamattomiin. EPS-ohutrappausjärjestelmää ei luokitella palamattomaksi solupolystyreenilämmöneristeen kuullessa palaviin materiaaleihin /45/. Isora-SL 60 solupolystyreenilevy on palosuojakäsitelty, jolloin levy ei ylläpidä palamista, vaan sammuu palopesäkkeen loitontuessa.



Palomääräykset uudisrakentamisessa luokittelevat rakennukset kolmeen palotekniseen luokkaan. Paloahidastavissa ja paloapidättävissä rakennuksissa ei julkisivurakenteen materiaaleille yleensä aseteta vaatimuksia materiaalin palamattomuuden suhteen. Ulkoseinien ulkopuolisten pintakerrosten luokkavaatimuksia selventää oheinen taulukko 6.1. Palonkestävissä ja paloapidättävissä rakennuksissa tuuletusilmarakoon päin oleviin pintoihin sovelletaan taulukon 6.1 luokkavaatimuksia.

Taulukko 6.1 Paloteknisten luokkien pintakerrosten luokkavaatimukset /46/.

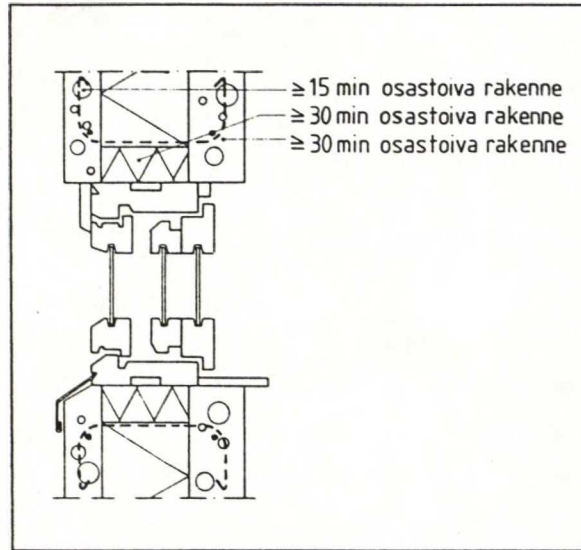
Rakennuksen luokka ja käyttötarkoitus	Syttymisherkkyyssluokka / Palonlevittämisloukka
Paloahidastava rakennus	
Yleensä	2 / —
Riittävän etäällä olevat 1-kerroksiset yhden tai kahden asuinhuoneiston rakennukset ja talousrakennukset	— / —
Paloapidättävä rakennus	
Yleensä	2 / —
Sairaanhoito-, huolto ja rangaistuslaitosten rakennukset	1 / I
Palonkestävä rakennus	1 / I

Palonkestävässä rakennuksessa ulkoseinät tulee tehdä palamattomista rakennustarvikkeista. Käytettäessä ulkoverhouksena palavia rakennustarvikkeita, materiaalin on täytettävä pintakerosvaatimus 1/I, savunmuodostuksen osalta vaatimusta ei kuitenkaan ole. Lämmöneristykseen ja tiivistykseen saa kuitenkin käyttää erikseen hyväksyttyjä palavia rakennustarvikkeita, mikäli seinään ei synny onteloita tuuletusilmarakoa lukuunottamatta, palava eriste suojataan tai sijoitetaan tehokkaasti palon leviämisen estämiseksi palavaan eristykseen, paloteknisestä osastosta tai rakennuksesta toiseen /45,55/.

Suojausta voidaan yleensä pitää riittävän tehokkaana sisäverhouksen ja palokatkon täyttäessä aukkojen ympärillä vähintään puolet ja ulkoverhous neljäsosan osastoivalta rakenteelta vaadittava paloluokasta. Ulkoverhous on sidottava niin, että palokatkot pysyvät paikoillaan rakenteelta vaadittavan palonkestoajan, vertaa seuraava kuva.

Palavan rakennustarvikkeen käyttö palonkestävän rakennuksen julkisivussa edellyttää materiaalista viranomaisten hyväksyntää. Hyväksynnän saaminen EPS-levyohutrappausrakenteelle edellyttää rakenteen testausta polttokokeessa palo-ominaisuuksien selvittämiseksi. Testien perusteella voidaan hakea tyyppihyväksyntäpäätöstä. Hyväksynnän myöntämä viranomainen, Ympäristöministeriö, ei kuitenkaan luokittele rakenteiden tyyppihyväksyntäpäätöksiä erikseen korjaus- tai uudisrakentamiseen, vaan rakenteita voidaan käyttää kohteisiin, joissa olemassaolevat vaatimukset täytetään /26/.

EPS-ohutrappausjärjestelmä on tyyppihyväksytty Ruotsissa käytettäväksi enintään kahdeksan-kerroksisiin rakennuksiin poislukien sairaanhoito- ja huoltolaitosten huoneistoja käsittävät rakennukset. Hyväksyntä on tehty polttokokeen SP A4 105 perusteella, jossa rakenteen on täytettävä mm. seuraavat ehdot



Kuva 6.2 Esimerkki palavan lämmöneristeen riittävän tehokkaasta suojaamisesta enintään 8-kerroksisessa asuinrakennuksessa osastoivuusvaatimuksen ollessa 60 min /55/.

- seinään kiinnitetystä lämmöneristeestä ja pintamateriaalista ei saa pudota suuria kappaleita
- ulkopuolisia liekkiä, jotka voivat sytyttää räystäään, ei saa esiintyä
- palon leviämistä ikkunan kautta ylempään kerrokseen ei sallita
- lämpövirrantiheys toisen kerroksen ikkunan keskellä ei saa ylittää  $80 \text{ kW/m}^2$

Järjestelmä, jossa eristyslevyn paksuus oli 60 mm, muovikiinnikkeitä noin  $8 \text{ kpl/m}^2$  ja rappauskerroksen paksuus 6,5...10 mm, läpäisi testin.

Rakentamismääräyksiä korjausrakentamisessa ennen 1.7.1976 valmistuneisiin rakennuksiin voidaan käyttää soveltuvin osin, kuitenkin rakennuksen turvallisuutta heikentämättä /41/. Rakennuksen korjauksessa on kuitenkin säilytettävä rakennuslupaa myönnettäessä ollut ja myöhempien korjaustöiden sekä rakennuksen kunnossapidon kautta jo saavutettu turvallisuuden taso. Rakennusvalvontaviranomaiset voivat kuitenkin hyväksyä määräyksistä poikkeavan rakenteen käytön oman harkinta- ja päätäntävaltansa perusteella. Ympäristöministeriöllä on palomääräyksiä tulkitsevia julkaisuja, mutta ohjeet ovat suosituksia yhtenäisen valvonta- ja hyväksyntämenettelyn perustaksi (esim. lähde /55/).

EPS-ohutrappausjärjestelmää on käytetty ensimmäisen kerran palonkestävän rakennuksen julkisivun lisälämmöneristämässä koekohteessa Tampereella vuonna 1992 rakennusluvan myöntäneiden viranomaisten käyttäessä tapauskohtaista harkintaa ja hyväksyessä rakenteen.

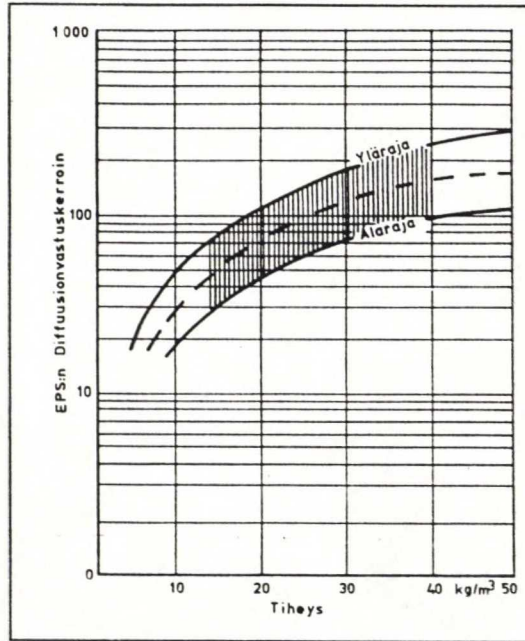
Helsingin rakennusvalvontavirasto hyväksyi rakenteen käytettäväksi Vuosaaren koekohteeseen, 8-kerroksiseen asuinkerrostaloon. Savonlinnan kohteessa, Kiinteistö Oy Viuhanhakassa Isora-EPS-ohutrappausjärjestelmää voidaan käyttää julkisivurakenteiden korjauksessa seuraavin edellytyksin, pintarappauksen paksuus on 8-9 mm:ä, eristekerroksen paksuus on  $\leq 80 \text{ mm}$ :ä ja palokunnalla on esteetön pääsy seinäalueen läheisyyteen ja sammuttaminen on esteettömästi suoritettavissa ulkoapäin /25/.

### 6.3 LÄMMÖNERISTE

Rakenteen lämmöneriste polystyreeni-solumuovi kuuluu kestopuoveihin ja on koostumukseltaan hiiltä ja vetyä. Polystyreeni-solumuovilevyjen valmistustapoja on kaksi: muottimenetelmä ja suulakepuristusmenetelmä. Muottimenetelmällä valmistetun solupolystyreenin eli EPS:n



(expanded polystyren ) raaka-aineina ovat pienet lasimaiset ponnekaasua sisältävät helmet. Polystyreenihelmet paisutetaan lämpökäsittelyllä suuremmiksi ns. esipaisutetuiksi rakeiksi ja edelleen muotissa kiinteiksi solupolystyreenikappaleiksi. EPS-levyjä valmistetaan normaalina eli P-laatussa, sammuvana palosuojakäsittelyllä S-laatussa sekä öljyn- ja bensiinikestävänä Ö-laatussa. Muottimenetelmällä valmistettu EPS on valkoista, kevyttä, tiheydeltään yleensä 15...40 kg/m<sup>3</sup> hajutonta ja myrkytöntä ainetta, joka ei lahoa, homehdu eikä mätäne. Rakenteen lujuusominaisuudet ja vesihöyryn vastus kasvat tiheyden kasvaessa.



Kuva 6.3 Diffuusionvastuksen riippuvuus tiheydestä. Kerroin ilmoittaa montakokertainen diffuusionvastus on seisovaan ilmaan verrattuna, kun ilman kerroin on 1. Vertailuna betonin kerroin on 28, kevytbetonin 1.4, villan 1.6 ja kuusipuun 110 /39/.

EPS:n lämmöneristyskyky perustuu umpisoluliseen mikrokennostoon, joka sisältää liikkumatonta ilmaa. Tyyppihyväksynnän kautta saadut normaaliset lämmönjohtavuudet ( $\lambda_n$  W/m°C) ovat suojaus- tai asennustavasta riippuen N tyyppille 0.041 tai 0.045 ja R tyyppille 0.037 tai 0.041.

EPS ei pala tiiviiden pintojen välissä, materiaalin vaatiessa osittainkin palaakseen ilmaa noin 130 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>-tuotetta. Materiaalin palamistuotteet ovat vesihöyry, hiilidioksidi ja niukkahappisessa olosuhteissa hiilimonoksidi. Palokuorma on 39 MJ/kg, vertailuna palokuorma koivupuulla on 10...14 MJ/kg.

EPS-ohutrappausjärjestelmässä käytettävä eriste on palosuojakäsittelyä Isora-SL 60 solupolystyreenijulkisivulevyä. Levyt on puolipontattu tai täyspontattu kaikilta sivuilta ja levyjen nimellistilavuuspaino on 17 kg/m<sup>3</sup>. Levyjen nimelliset toimituspaksuudet ovat 50...150 mm 10 mm:n välein ja toimituskoot 500·1000 mm<sup>2</sup>, 500·1200 mm<sup>2</sup> ja 600·1000 mm<sup>2</sup>.

Taulukko 6.2 Isora EPS-levyn ominaisuuksia, VTT:n sallimat mittausarvot;

normaalinen lämmönjohtavuus $\lambda_n$	0.041 W/mK.
vesihöyryn läpäisevyys	$6 \cdot 10^{-12}$ kg/msPa
jälkikutistuma	< 0.2 %
vesiabsorptio, pitkäaikainen upotus	3.0 - 5.0 til-%
pituuden lämpötilakerroin	$60 \cdot 10^{-6}$ 1/K
lämmönkesto	-200...+ 80 °C

vetolujuus	0.05 N/mm <sup>2</sup>
leikkauslujuus	0.04 N/mm <sup>2</sup>
kimmomoduuli lyhytaik./pitkäaik.	4.0/2.3 N/mm <sup>2</sup>
liukumoduuli lyhytaik./pitkäaik.	2.3/1.1 N/mm <sup>2</sup>
puristuslujuus, pitkäaik. painuma 2 %	0.020 N/mm <sup>2</sup>

Vertailuna Montenovo-tuotemerkin EPS-eristelevyn lujuusarvoja.

Taulukko 6.3 EPS-eristelevy, tyyppi PS 15 SE tiheys 15 kg/m<sup>3</sup>

vetolujuus	0.15...0.23 N/mm <sup>2</sup>
leikkauslujuus	0.45...0.55 N/mm <sup>2</sup>
taivutuslujuus	0.16...0.21 N/mm <sup>2</sup>

Mitatut arvot ovat kymmenkertaisia verrattuna VTT:n sallimiin mittaustuloksiin Isoran EPS-levylle. Ero johtuu solupolystyreenin pitkäaikaisista lujuusominaisuuksista.

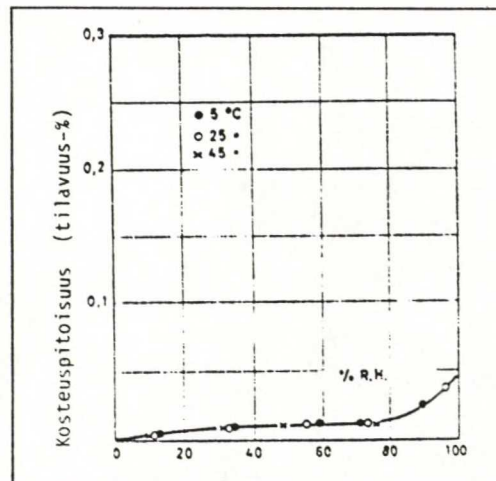
Rakenteen omapaino ei muodostu kiinnityksen mitoittavaksi tekijäksi, sillä EPS-levyn leikkauslujuus on korkea, 0.45...0.55 N/mm<sup>2</sup>, jolloin kuormitukset siirtyvät eristelevyn kautta kantaan, alkuperäiseen rakenteeseen

Mikäli rakenteessa käytetään alkuperältään erilaisia EPS- materiaaleja, tulee seuraavien UEAtc:n vaatimusten täyttyä /9/

vetolujuus EN (N 477) .....  $\sigma_t \geq 0.18 \text{ N/mm}^2$   
liukumoduuli EN (N 482) .....  $G \leq 2 \text{ N/mm}^2$

Eristeen kosteustekniset ominaisuudet ovat hyvät. Solupolystyreeni ei ime kosteutta, koska rakenteen kapillaarinen imuvoima on erittäin pieni, VTT:n hyväksymien materiaaliarvojen mukaan ” olematon ”, jolloin pitkäaikaisessa käytössä ei ole odotettavissa eristeen lämmöneristyskyvyn heikkenemistä. Materiaalin vesipitoisuus tilavuusprosentteina ajan suhteen on:

viikko veteen upotettuna til. %.....0.5-3.0  
vuoden veteen upotettuna ” .....3.0-5.0



Kuva 6.4 Solupolystyreenin sorptiokäyrä kuvaa rakenteen suhteellista kosteutta vastaavat kosteuspitoisuudet tasapainotilassa /42/.



## 6.4 KIINNITYS

Lämmöneristeet kiinnitetään sementtiperustaisella liimalaastilla, johon on lisätty dispersioainetta, yleensä keinohartsia. Laastia voidaan materiaalivalmistajasta riippuen käyttää myös vahvisteverkon kiinnitykseen. Laastin paksuus on 3...6 mm. Seuraavassa taulukossa on eri materiaalivalmistajien laastien tartuntalujuuksia eristelevyn pintaan.

Taulukko 6.4 Laastien tartuntalujuus

Dispotherm/(Capatech)	0.08 N/mm <sup>2</sup>
Sto	0.2 N/mm <sup>2</sup>
Alsecco	0.1 N/mm <sup>2</sup>

EPS-levyn kiinnityksen tapahtuessa alustaan vähintään 60 %:sti pinta-alastaan saadaan kestävyysdeksi

Dispotherm	0.048 N/mm <sup>2</sup>
Sto	0.12 N/mm <sup>2</sup>
Alsecco	0.06 N/mm <sup>2</sup>

Dispothermiin liimalla saavutetaan 48 tunnin vesisäilytyksen jälkeen 0.33 N/mm<sup>2</sup> tartuntalujuus. Koko rakenteen tartuntalujuus 48 tunnin vesisäilytyksen jälkeen on 0.2 N/mm<sup>2</sup>, jolloin rakenteen murto on tapahtunut eristelevyssä. Kuivissa olosuhteissa tartuntalujuus on 0.28 N/mm<sup>2</sup>. EPS-levyn ja laastin välistä tartuntaa ja rakenteen kestävyttä voidaan parantaa urittamalla eristeen pinta, jolloin tartuntapinta-ala kasvaa. UEAtc:n vaatimus liimalaastin tartuntalujuudelle rappauksen painon ollessa alle 10 kg/m<sup>2</sup> on vähintään 0.1 N/mm<sup>2</sup>.

Lähteessä /30/ on mitattu EPS-ohutrappausjärjestelmän tartuntalujuuksia, jolloin on käytännössä mitattu liimalaastin tartuntalujuutta. Koekappaleiden ikä 9...13 vuotta ja pintamateriaali polymeerisidosaineinen mineraalirappaus.

Taulukko 6.5 Koekappaleiden tartuntalujuudet

Tartuntalujuus EPS-ohutrappausjärjestelmällä $\beta_{wds, hz}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Koekappaleet, tartuntalujuus laskettuna teholliselle tartuntapinta-alalle	
Keskimäärin	0.0302 (19 koetta)	0.0663 (12 koetta)
Pienin arvo	0.074	0.0306 (12 koetta)
Suurin arvo	0.0718 (EPS:ssa)	0.0985 (12 koetta)

EPS-eristeen vetolujuus on liimalaastin vetolujuutta suurempi, jolloin liimalaasti määrää vetolujuuden tarkasteltaessa rakennetta ilman kiinnikkeitä. Julkisivun vetorasitus muodostuu tuulen paine- ja imukuormasta

Rakenteen tuulikuormitus meren rannikkoalueella on

$$q_k = 0.76 \cdot (h/10)^{0.24} \quad \text{kaava (6.1)}$$

merialueella, ulkosaarilla ja luodoilla

$$q_k = 1.03 \cdot (h/10)^{0.16} \quad \text{kaava (6.2)}$$

jossa  $h$  on rakennuksen korkeus

## Varsinainen tuulikuorma

$$q_w = \mu \cdot q_k$$

kaava (6.3)

jossa  $\mu$  on painekerroin

Kerrostalolle, jossa kaikilla seinillä on keskimäärin sama tiiveys, maksimi painekerroin imukuormalle on - 0.9, jolloin voidaan laskea esimerkkinä 8-kerroksiselle 20 metriä korkealle talolle, (Saksan rakentamismääräysten sallima maksimikorkeus EPS-levyn käytölle), jonka leveys on 10 metriä, tuulen imukuormitukseksi  $1.05 \text{ kN/m}^2$ , jolloin  $q_{wd}$  on  $0.0017 \text{ N/mm}^2$ . Liimalaastin tartunta on suurempi kuin kyseinen rasitus ja EPS-eristeen lujuudet ovat myös rasitusta suurempia (taulukko 6.5), joten rakenne kestää tuulen aiheuttaman kuormituksen ilman kiinnikkeitäkin.

Merialueilla, ulkosaaristossa ja luodoilla rasitus on suurempi,  $q_w$  on  $1.35 \text{ kN/m}^2$  ja  $q_{wd}$  on  $0.215 \text{ N/mm}^2$ , jolloin liiman tartuntalujuus ylittyy eli rakenne tarvitsee mekaaniset kiinnikkeet. Rakenteen kiinnitys mekaanisesti rajoittaa hygrotermisten muodonmuutosten vaikutusta ja varmistaa rakenteen kiinnipysymisen tuulirasitusten alaisena.

Tartuntakiinnitys varmistetaan käyttämällä mekaanisia, yleensä polyetyleni tai -propeenimuovisia kiinnikkeitä. Kiinnike koostuu tulpasta ja kärkinaulasta, joka laajentaa tulpan kärjen ja kiinnikkeen ja rakenteen välille syntyy kitkaliitos. Tulpan levyosan halkaisija on materiaalivalmistajasta riippuen 50...60 mm, pituus määräytyy eristepaksuuden mukaan. Kiinnikkeiden ulosvetolujuudet voidaan määrittää paikalla tehtävin vetokokein, kokeiden määrä vähintään 6 kpl/kohde. Vetokestävyyden ominaisarvo  $P_k$  lasketaan Ruotsissa kaavalla

$$P_k = 0.2 \cdot (6 P_{\min} - P_{\max}) \quad (6.4)$$

$$P_k > 0.50 \text{ kN}$$

jossa  $P_{\min}$  ja  $P_{\max}$  ovat vetolujuuksien ääriarvot

Vetokestävyyden laskenta-arvo  $P_{\dim}$  on  $P_k/2.5$ , kuitenkin korkeintaan 200 N. Seuraavassa taulukossa on Dispotherm kiinnikkeiden ulosvetolujuuksia.

Taulukko 6.6 Dispotherm kiinnikkeiden Ruotsin tyyppihyväksynnän ulosvetolujuudet. Reiän halkaisija  $\phi = 10 \text{ mm}$ , ankkurointisyvyys  $> 30 \text{ mm}$ . D-615 on teleskooppikiinnike, jota voidaan käyttää eristypaksuuksilla 20...90 mm

Alusta mm	D-615	D-617 pituus 110
mm		D-618 pituus 140
Betoni K 15...45	975 N	1130 N
Tiili	562 N	1130 N
Kalkkihiekkakivi	762 N	1100 N
Kevytbetoni 600	-	1130 N
Kevytbetoni 450	-	710 N

VTT:n mittausten mukaan Dispotherm kiinnike läpäisee (rikkoo) 50 mm:n paksun EPS-levyn vetorasituksella 570...580 N. Saksassa kiinnikkeiden määrä on riippuvainen rakenteen korkeudesta ja julkisivun osasta. Alle 20 metriä korkeissa rakennuksissa voidaan seuraavia kiinnikemääriä käyttää ilman erillisiä rakenteen kiinnikkeiden kestävyys todistavia laskelmia.



Taulukko 6.7 Kiinnikkeiden määrä Saksan rakentamismääräysten mukaan

Rakenteen korkeus alle 20 m	kiinnitys vahvisteverkon läpi	kiinnitys vahvisteverkon alta
Rakenteen pinnalla	4 kpl/m <sup>2</sup>	5 kpl/m <sup>2</sup>
” reunoilla	8 kpl/m <sup>2</sup>	12 kpl/m <sup>2</sup>

Reunan leveys on riippuvainen rakenteen leveydestä seuraavan taulukon mukaisesti. Rakenteen leveys on suorakulmaisessa talossa lyhyempi sivumitta ja monikulmaisessa talossa yhdensuuntaisten sivujen pienin summa.

Taulukko 6.8 Julkisivun reuna-alueen leveys Saksan rakentamismääräysten mukaan

Rakenteen leveys	≤ 8 m	> 8 - 12	> 12
Reunan leveys	1.0 m	1.5 m	2.0 m

Lisäeristysjärjestelmän kiinnitys voidaan varmistaa ulottamalla kiinnike kantavaan rakenteeseen tai vaurioitumattomaan elementin sisäkuoreen. Kiinnikkeiden määrä on riippuvainen rakenteesta ja sen kunnosta. Kiinnikkeinä käytetään muovisia kiinnitystulppia, joiden yhteistoiminta muun rakenteen kanssa voidaan varmistaa kiinnikkeen alle asetettavalla vahvisteverkolla, joka limittää varsinaisen vahvisteverkon kanssa verkkolaastin levityksen yhteydessä. Vuosaaren seurantakohteessa kantavaan betonirakenteeseen ulottuvien kiinnitystulppien määrä oli 1 kpl/m<sup>2</sup> ja vahvisteverkon koko noin 300-400 mm<sup>2</sup>.

## 6.5 KIINNITYSLAASTI

Liimalaastin lujuusominaisuuksia on tutkittu lähteessä /47/ ja tuloksena on saatu seuraavan taulukon mukaisia arvoja.

Taulukko 6.9 Lujuuskokeiden tulokset. Dispotherm-609 laasti on akryylihartsipohjainen siloite, joka koostuu vesiohenteesta ja kvartsisesta runkoainesta

Dispotherm 609	Suhteellinen kosteus 70 % keskiarvo / keskihajonta [MPa]	Suhteellinen kosteus 90 % keskiarvo / keskihajonta
3 d Taivutusvetolujuus	3.05 / 0.17	2.94 / 0.56
Puristuslujuus	6.35 / 0.29	6.21 / 0.63
7 d Taivutusvetolujuus	4.80 / 0.71	4.71 / 0.41
Puristuslujuus	9.51 / 0.70	10.1 / 0.84
28 d Taivutusvetolujuus	7.67 / 0.18	6.73 / 0.41
Puristuslujuus	15.4 / 1.6	13.8 / 1.1

Taivutusvetolujuus on 47-50 % puristuslujuudesta, mikä on ominaista muovisideaineisille laasteille. Dispotherm-laastien taivutusvetolujuusominaisuudet ovat tyypillisiä sementti- tai kalkkimenttilaasteja suuremmat.

Taulukko 6.10 Dispotherm laastien Demec-nastojen avulla suoritettujen kutistumamittausten tuloksia /47/

Laastiprisma ikä 58 d	Suhteellinen kosteus 70 %	Suhteellinen kosteus 90 %
Keskiarvo (n=3) %	0.179	0.125

Itävallassa kovettumisen jälkeinen kutistuma-arvon vaatimus on ≤ 0.8 % ( 20 ° C, RH 65 %). Synthotherm tuotteet (Dispotherm tuotenimi ) saavuttivat testissä arvon 0.917 %.

Vapaat kutistumat ovat suurehkoja, mutta todellisessa rakenteessa kutistumat ovat estettyjä, jolloin rakenteeseen aiheutuu lisävetojännityksiä. Teoreettisena esimerkkinä 10 metrin yhtenäisen rakenteen vetojännitys laastin kutistumasta olisi noin  $8.95 \text{ N/mm}^2$ , Dispotherm-laastin kimmoduulin ollessa  $5000 \text{ N/mm}^2$  ja kutistuman  $0.179 \%$ . Jännitys ylittää laastin vetolujuuden, jolloin rakenne murtuu ja laastikerroksessa tapahtuu halkeilua, mikä lisääntyy laastin kuivumisen ja kutistumisen tapahtuessa liian nopeasti. Rakenne kuivuu liian nopeasti lämpimällä ilmassa kovassa tuulessa tai ollessaan alttiina suoralle auringonpaisteelle.

## 6.6 PAKKASENKESTÄVYYS

Lähteessä /47/ on suoritettu Dispotherm liimalaastin pakkasenkestävyyskokeita. Laastin näennäinen huokoisuus  $\beta$  ilmoittaa laastinäytteen huokoisuusprosentin, johon vesi tunkeutuu normaalipaineessa.

$$\beta = \frac{m_i - m_t}{m_i - m_v} \quad (\text{kaava 6.5})$$

jossa  $m_i$  on näytteen paino ilmassa vesiupotuksen jälkeen (g)  
 $m_v$  on näytteen paino vesiupotuksessa (g)  
 $m_t$  on näytteen kuivapaino (g)

Taulukko 6.11 Laastinäytteiden näennäinen huokoisuus/13/

Prisma (vakuumi)	$\beta$ [%]
10	40.0
27	38.3
28	36.9
29	37.1

Laastin huokoisuus on n. 38 % ylittää suojahuokosten minivaatimuksen 15 % laastien pakkasenkestävyyden varmistamiseksi.

Ruotsissa suoritetuissa säärasituskokeessa Isoran EPS-eristysjärjestelmä (Dispotherm System 600) /21/ ei vaurioitunut eivätkä pinnan ominaisuudet muuttuneet. Koe koostui 140 syklistä á 3 tuntia. Syklin sisältö: rakenteen pinnan lämpötila nostettiin  $70^\circ\text{C}$ , pinta jäähdytettiin suihkuttamalla  $20^\circ\text{C}$  vettä  $1 \text{ l/m}^2\text{min}$ . Lisäksi rakenteelle tehtiin 20 syklin lämpötilankestokoe, yhden syklin sisältö: 8 tuntia  $+23^\circ\text{C}$  ja 16 tuntia  $-20^\circ\text{C}$ . Rakenteessa ei tapahtunut optisesti havaittavia muutoksia.

## 6.7 ISKUNKESTÄVYYS

Rakenteen iskunkestävyyttä voidaan mitata UEAtc-direktiivin mukaisesti pudottamalla teräspallo tutkittavan materiaalin päälle. 10 Joulen iskussa 1 kg:n teräspallo pudotetaan 1.02 metrin korkeudelta rakenteen pintaan ja 3 Joulen iskussa pudotetaan 0.500 kg:n teräspallo 0.61 metrin korkeudelta /9/.

Isoran EPS-eristysjärjestelmä kestää vaurioitumatta 3 Joulen iskuja, mutta 10 Joulen iskut aiheuttavat pinnoitteeseen 1 mm syvyisen painuman. Tulosten mukaan rakenne kestää normaaleja rasituksia pientaloissa ja asuintaloissa toisesta kerroksesta ylöspäin. Asuinkerrostalojen ja julkisten rakennusten pohjakerrosten käsittelyyn rakenne sopii varustettuna vahvemmallalla lujiteverkollla (kaksinkertainen lujiteverkko tai panssariverkko). Paikoissa, joissa on tavallista suurempi mekaaninen kulutus esimerkiksi koulut, nuorisotilat sekä ahtaat ja raskaasti liikennöidyt pihat, rakennetta ei ole suositeltavaa käyttää maanpäällisessä kerroksessa.



Julkisivun iskurasitusten aiheuttamien vaurioiden ollessa yleisiä kyseisellä menetelmällä, pinnan iskurasituksia voidaan ehkäistä ja pienentää käyttämällä tiheämpää ja kovempaa suulakepuristettua solupolystyreeniä tai maanpinnan ja julkisivun liittymässä betonista reunakiveä.

## 6.8 VERKKOLAASTIKERROS

Eristelevyjen päälle levitetään 4...6 mm paksu laastikerros. Paksumpi, 6...9 mm, oleva laastikerros suojaa eristelevyjä palotilanteessa paremmin ja materiaalipaksuus vastaa Ruotsin SP A4 105 polttokokeen läpäisemää rakennetta. Laastikerroksen sisään asetetaan vahvisteverkko. Yleisesti käytetään 4 mm:n silmäkoolla ja painoltaan noin 180 g/m<sup>2</sup> olevaa lasikuituverkkoa. Lasikuituverkolle asetetaan seuraavia vaatimuksia /9,30/.

- verkon aineosien oltava alkalinkestäviä
- verkon vetolujuus käyttöolosuhteissa  $\geq 1.75 \text{ kN} / 5 \text{ cm}$  eli  $\geq 35 \text{ N/mm}$
- 28 vrk 5 % natriumhydroksidiliuos säilytyksen jälkeen vetolujuus  $\geq 0.85 \text{ kN} / 5 \text{ cm}$  tai  $25 \text{ N/mm}$  mekaanisesti kiinnitetyille rakenteille
- 6 tunnin säilytyksen jälkeen pH-arvoltaan 12.5 liuoksessa vetolujuus  $\geq 0.75 \text{ kN} / 5 \text{ cm}$  eli  $15 \text{ N/mm}$

Dispotherm verkkolaastikerroksen (liimalaasti 609 ja vahvisteverkko) vetolujuus on kuivissa olosuhteissa 35.3 N/mm, 28 päivän vesisäilytyksen jälkeen 32.8 N/mm. Itse vahvisteverkon lujuus kuivissa olosuhteissa on 31.2 N/mm, 28 päivän vesisäilytyksen jälkeen 30.3 N/mm /8/.

## 6.9 PINTARAKENNE

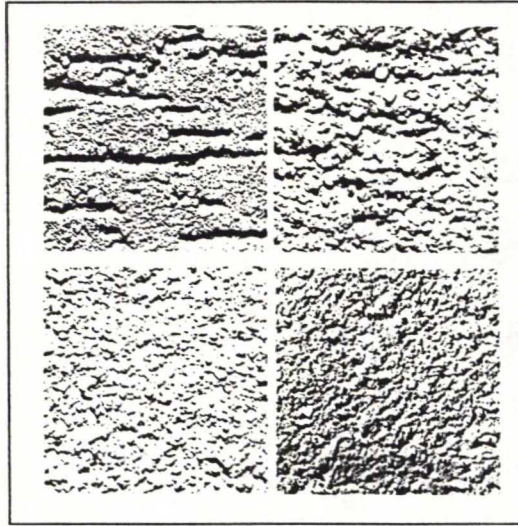
Laastikerroksen päälle tulee lopullinen pintarakenne ohutrappauksena. Rappausmateriaalina käytetään sekä orgaanisia että epäorgaanisia tuotteita. Seuraavassa taulukossa on eri ohutrappausmateriaalien ominaisuuksien luokittelu.

Taulukko 6.12 Orgaanisia rappausmateriaaleja

Materiaali	keinohartsi	silikonihartsi	silikaatti
Aineosat	95 % mineraalisia ja noin 5% orgaanisia aineosia, polymeerihartseja.	silikonihartsia ja synteetistä hartsia	kaliumsilikaattia (vesilasia) ja sideaineita
Käyttökokemuksia, vuotta	yli 30	yli 5	yli 10
Halkeamienkestokyky	++	++	+
Likaantumiskestokyky	+	++	++
Pitkäaikaiskestävyys	++	++	+

Merkkien selitys; + hyvä, ++ erittäin hyvä

Rappauksen pintarakennevaihtoehtoja on useita. Seuraavassa kuvassa 6.5 on tyypillisiä pintastruktuureja.



Kuva 6.5 Tyypillisiä rappauspintoja. Lukusuunnan mukaan; vakorappaus, hierretty rappaus, raapparappaus ja roiskerappaus.

Rappauksen paksuus riippuu käytetystä raekoosta, raekokovaihtoehtoja on useita: 1.2, 2, 2.5 ja 5 mm. Rappaustuotteet ovat läpivärjättyjä ja värisävyyskaala on laaja, saatavissa on jopa 200 erilaista sävyä /7/.

#### 6.10 LIIKUNTASAUMAT

Rakenne ei itsessään vaadi liikuntasaumaa pinnoitteen ollessa elastinen, mutta liikuntasäuma tehdään, mikäli alusrakenteessa on sellainen. Liikuntasäumassa käytetään erillistä saumanauhaa tai -massaa.

#### 6.11 SOKKELI- JA KULMALISTAT

Sokkeli- ja kulmalistat ovat yleensä elaksoitua alumiinia, joissa on tippaura tai -reuna. Leveys vaihtelee eristepaksuuden mukaan, pituus on 2...2.5 m.

#### 6.12 MUUT OSAT

Ikkunan vesipeltielementtejä sekä erilaisia EPS:stä tehtyjä koristelistoja käytetään paljon erityisesti Keski-Euroopassa. EPS-profiileja voidaan käyttää historiallisiin rakennuksiin koristeisiin ja reliefeihin. Profiilit ovat kevyitä, jolloin niitä ei tarvitse kiinnittää mekaanisilla kiinnikkeillä rakenteeseen vaan liimalaastikiinnitys riittää. Liimalaasti levitetään kauttaaltaan koristelistan pintaan ja lista kiinnitetään valmiin verkkolaastikerroksen päälle. Listat päällystetään pinnan rappauksen yhteydessä.

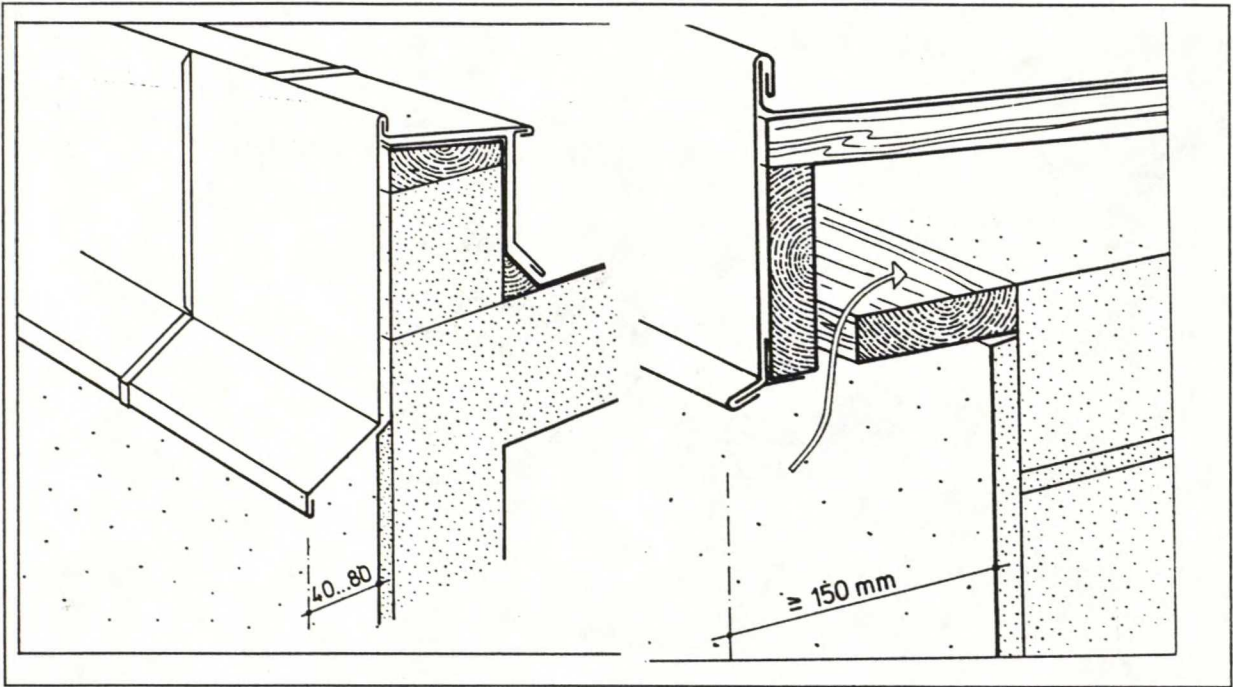
Rappauksen lisäksi julkisivurakenteena voidaan käyttää laastilla verkkolaastikerroksen päälle kiinnitettäviä tiililaattoja. Rakenteen ulkonäkö vastaa muurattua rakennetta.

#### 6.13 RAKENTEEN RAKENNEYKSITYISKOHTIA

Rapatun julkisivun muiden julkisivujen tapaan kunnossapysymisen kannalta tärkeitä rakennetyiskohtia ovat räystäät ja julkisivusta ulkonevat osat kuten parvekkeet, ikkuna- ja oviaukot ja erilaiset seinään tulevat kiinnitykset. Yksityiskohtien suunnittelun ja toteutuksen tarkoituksena on estää sadeveden valuminen suoraan rapatulle julkisivupinnalle.



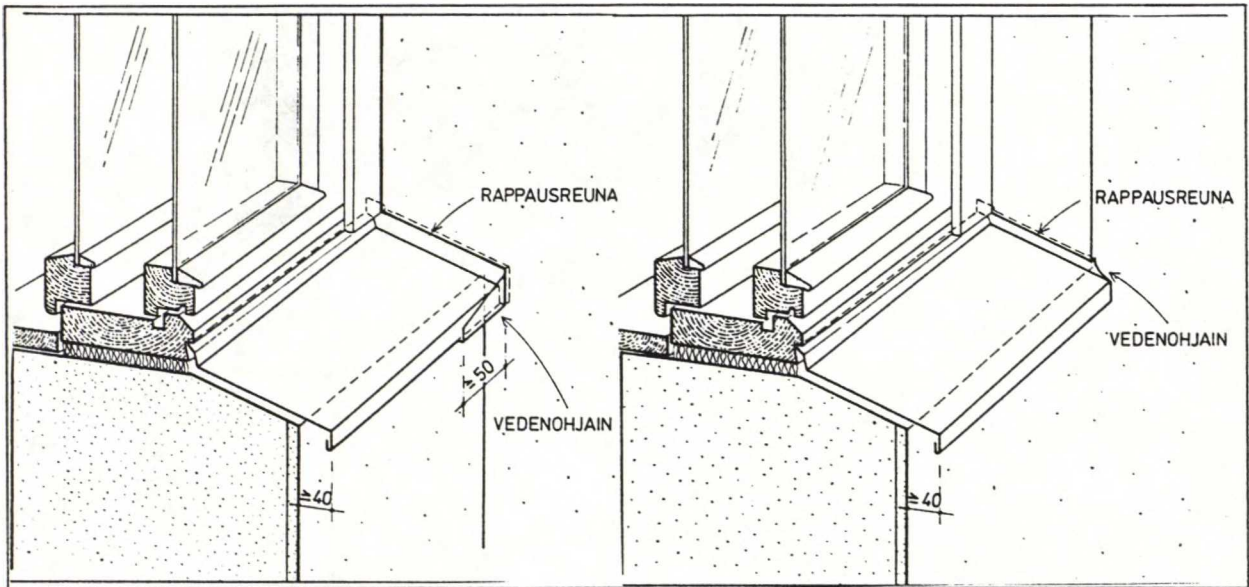
Räystäättömissä rakennuksissa räystääspeltiin tehdään taite julkisivupinnasta poispäin. Taitteen ulottuma on julkisivupinnasta vähintään 40 mm. Korkeammissa rakennuksissa räystään tai räystääspellin reunan suositeltava etäisyys rapatusta seinäpinnasta on vähintään 150 mm. (kuva 6.6).



Kuva 6.6 Ulkoneva räystäs varustettuna tippanokalla ja räystääspellityksen tippanokka /54/.

Erkkereiden, katoksien yms. rakenteiden liittymisessä julkisivupintaan huomioidaan katolta valuvan tai seisovan veden ja lumen vaikutus. Pellitys nostetaan seinälle, suositeltava korkeus on 300 mm:ä. Pellityksen liittymä voidaan tehdä sokkelilistan avulla, jolloin liittymäkohtaan asennetaan sokkelilista, josta eristelevylinja jatkaa. Näin pellitys voidaan tehdä julkisivutöistä riippumatta, ennen tai jälkeen eristeen asennuksen. Tämän ratkaisun heikkoutena on kuitenkin pellityksen taakse muodostuva eristämätön kylmäsilan muodostava kaistale, joka saattaa pienentää huonetilan operatiivista lämpötilaa ja termistä viihtyvyyttä.

Toinen ratkaisu on tehdä eristeeseen ura, johon pellitys taitetaan ja ura täytetään elastisella saumausmassalla. Pellitys voidaan asentaa julkisivun lisäeristämisen ja rappauksen jälkeen ja rakenteeseen ei muodostu eristämättömiä kohtia. Liittymädetaljia voidaan käyttää myös parvekelaatan liittymässä, vertaa seuraava kuva 6.7.



Kuva 6.7 Julkisivupellityksen liittämävaihtoehtoja.

Ikkunoiden liittymissä seinärakenteeseen ja pintarappaukseen estetään seinärakenteeseen tunkeutuvan veden vaikutus saumanauhoilla ja/tai elastisilla kiteillä. Vesipellin liitos seinäpintaan sekä seinäpinnan liitos ikkunan pystykarmiin tiivistetään. Liitoskohta voidaan myös viiltää auki ja tiivistää, jolloin rakenteen liittymäkohdassa on tavallaan liikuntasäuma. Menetelmää voidaan soveltaa myös julkisivun sisäkulmissa.

Syöksytorvien, palotikkaiden yms. kiinnikkeiden tulisi olla alaspäin vinoja, jotta vesi valuisi seinästä pois päin. Syöksytorven ja seinän väliin tulisi jättää vähintään noin 30 mm rako ja syöksytorven sauma on edullista sijoittaa julkisivun suuntaisesti torven sivuun, jolloin sauman aukeamisesta johtuva vuotovesi ei valuisi suoraan seinäpintaan.

## 6.14 PITKÄAIKAISKESTÄVYYS

### 6.14.1 YLEISIMMÄT VAURIOT

Vuosina 1979-1982 suoritettujen tutkimusten tulokset 156:n rakennuksen rapattun lisäeristysten vaurioista. Tutkimuksessa ei eritelty materiaaleja, vaan otos sisältää sekä orgaanisia että epäorgaanisia rappauksia. Mikäli julkisivussa on ollut erilaisia vaurioita, vauriot on jaoteltu tyyppin mukaan, jolloin rakennusten lukumääräsarake ylittää 156:n /30/.

Taulukko 6.13 Tutkimuksen mukaiset rapattujen lisäeristysten yleisimmät vauriot.

Vaurio	Rakennusten lukumäärä	Määrä [%]
Halkeama	125	80.1
Pinnassa painuma, pinta irronnut tai kuoriutunut pois	91	58.3
Läpikostuminen	76	48.7
Värivika, haalistuma	33	21.2
Muu	3	1.9

Lähteessä /21/ vuonna 1983 suoritetussa kenttätutkimuksessa tutkimuskohteena oli 87 rakennusta, pääosin asuinkerrostaloa Etelä-Saksassa, Sveitsissä ja Itävallassa. Kohteiden ikä oli 8...24 vuotta, keskimääräinen ikä 12 vuotta.



Vaurioitumisryhmään 1 luokiteltiin julkisivut, joissa ei ollut vaurioita tai vauriot olivat pieniä halkeamia. Ryhmässä 2 vauriot olivat vähäisiä; yksittäisiä pysty- tai vaakasuuntaisia halkeamia ja ryhmässä 3 suurempia vaurioita; leveämpiä halkeamia, pinnan kuplimista ( blasenbildung ) tai pinnan irtoamista kerroksittain. Tutkimuskohteiden vauriojakauma:

ryhmä 1: 60 %, 52 kpl  
ryhmä 2: 28 %, 24 kpl  
ryhmä 3: 12 %, 10 kpl

Tutkituissa vaurioituneissa rakennuksissa yleisimpiä olivat reunojen vauriot, jotka johtuivat sokkelissa, ikkunan smyygeissä ja rakennuksen reunoissa virheellisesti asennetusta kulmavahvisteprofiiliin ja vahvisteverkon liitoksesta; lasikuituverkkoa ei oltu limitetty profiilin yli. Lisäksi esiintyi ruostevaurioita korroosioalttiilla kulmavahvistemateriaaleilla. Kohteissa, joissa ei ollut käytetty panssariverkkoa tai kaksinkertaista vahvisteverkotusta ja pohjakerroksissa esiintyi vaurioita iskun tai töytäisyn aiheuttamana. Lisäksi tutkimuksen yhteydessä suoritettiin kokeita eristeen vesipitoisuudesta halkeilleelle pinnalle. Suurimmaksi vesipitoisuuden arvoksi mitattiin 0.06 til-% eli eriste on pysynyt kuivana.

Vaurioiden välttämiseksi rakenteen materiaalien, suunnittelun ja toteutuksen tulee olla virheetöntä. Materiaalien yhteensopivuus on tärkeämpää kuin yksittäisen komponentin toimivuus. Rakenteeseen aiheutuu vaurioita työn huolimattomasta suorittamisesta, rakenteen yksityiskohtien puutteellisesta suunnittelusta ja sopimattomista materiaaleista.

Työ- ja suunnitteluvirheet rakennuksen julkisivun vedenpoistojärjestelmissä ja halkeamat rappauksessa ja raot lämmöneristeessä mahdollistavat haitallisten vesimäärien pääsyn rakenteen sisään. Kosteus on aiheuttanut rakenteessa pakkasvaurioita, rakenteen pinnoitteen kuoriutumista ja kuplimista, pinnan likaantumista ja väri vaihteluita vesivalumien kohdalle.

Vaurioita on esiintynyt käsin levitetyissä rappauksissa, keinohartsia olevilla rappauksilla ohuilla ja mineraalirappauksilla paksuilla kerroksilla. Paksulla rappauksella voidaan peittää epätasaisuuksia, jolloin pinnan tasaisuudelle ei aseteta niin suuria vaatimuksia kuin ohutrappauksessa. Keinohartsi ei ole työmaan sääolosuhteille niin herkkä kuin mineraalirappaus, jolle on suoritettava huolellinen jälkihoito. Lisäksi mineraalirappauksissa on ollut ongelmia värin tasaisuudessa, pinnan väristä on tullut laikukas. Väri vaihtelu johtuu pinnan epätasaisesta kuivumisesta ja mineraalisen rappauksen suuremmasta imukyvyistä verrattuna orgaaniseen rappaukseen.

Pinnan kutistumahalkeamien estämiseksi käytetään yleensä karkeapintaisia rappauksia. Sileä rappaus epäorgaanisilla tuotteilla vaatii oikean rappaus/hiekkasekoituksen, jolla estetään pinnan yllirasvoittuminen. Sementtiliima voi kuitenkin muodostaa sintterikalvon, joka repeilee tai irtoaa myöhemmin yhdessä pinnoitteen kanssa. Karkeammilla runkoaineilla on olemassa sideaineen vaippautumisen vaara, jolloin sideaine irtoaa kosteus- ja kuivumissykliä vaikutuksesta runkoaineesta.

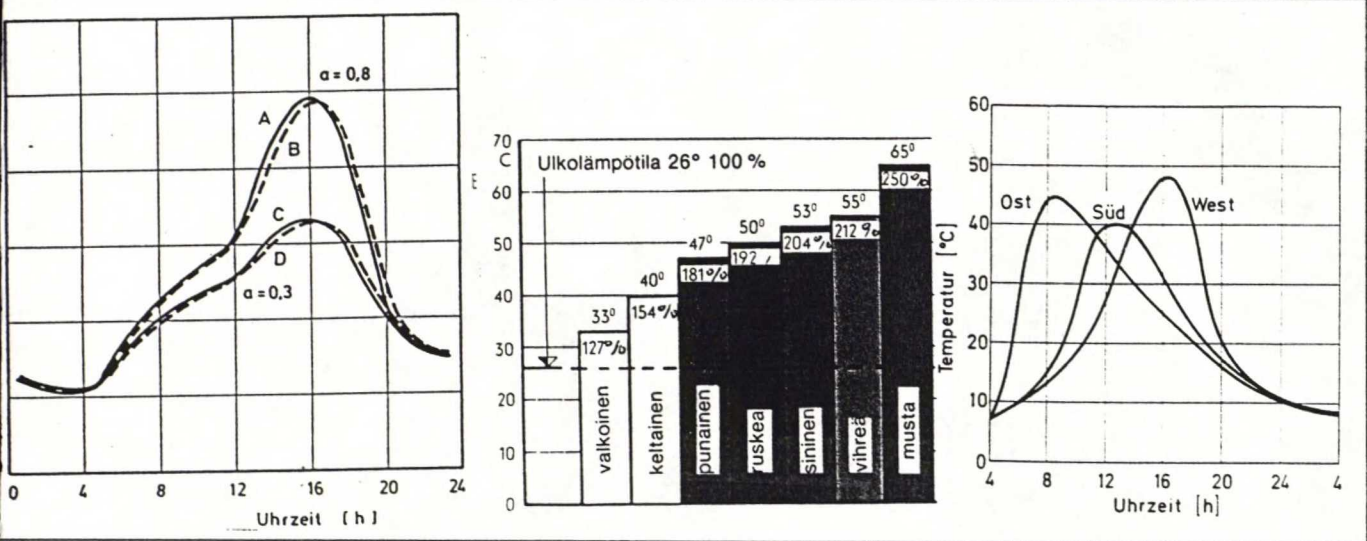
Voimakas auringonpaiste pehmentää rappausmateriaalien dispersioainetta, jolloin pölyyntymisvaara ja noen ja lian sitoutuminen saattavat lisääntyä. Auringon säteily haalistaa orgaanisia pigmenttejä, erityisesti tummilla pinnan väreillä. Dispersioainetta sisältävillä aineilla on lämpötila, jota ei materiaalin kalvoontumisen aikana saa alittaa. Vajavaisesti kalvoontuneet ovat huokoisempia ja läpäisevät ilmaa ja vettä enemmän kuin normaalisti kalvoontuneet rappaukset. Lämpötilan alitus saattaa johtaa materiaalien vanhentumiseen ja halkeiluun. Saksassa tehtyjen seurantatutkimusten perusteella materiaalien vanheneminen on aiheuttanut tartuntalajuuksien heikkenemistä lämpö-, sade-, pakkasrasitusten ja veden imeytymisen seurauksena.



Materiaalit kestävät alhaisia lämpötiloja, mutta työn aikana laastien ja rappauksen kosteus on yli materiaalin kriittisen kosteuspitoisuuden ja lujuus ei ole kehittynyt tasolle, joka kestäisi pakkasrasitukset, jolloin minimilämpötilavaatimusta tulee noudattaa varastoinnin, työsuorituksen ja rakenteen kuivumisen ajan. Materiaalivalmistajien yleinen vaatimus työn minimilämpötilasta onkin  $+3$  tai  $+5$  °C.

### 6.14.2 PAKKOVOIMAT

Lämmöneriste julkisivun pinnassa estää alla olevan rakenteen suuret lämpötilanmuutokset pienellä lämmönjohtokyvyllään, jolloin eristeen pinnalla oleva rakenne joutuu suurempien lämpötilanvaihteluiden alaiseksi. Pinnan lämpötilan vaihteluun vaikuttaa rappauksen väri, paksuus, eristeen lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Suurin vaikutus on seinän ilmansuunnalla, ympäröivien rakenteiden varjostavalla vaikutuksella ja auringon säteilyn intensiteetillä sekä pinnan värillä.



Kuva 6.8 a) Laskettu pintalämpötilan vaihtelu ajan suhteen kesäpäivänä vaalealla ja tummalla pintarappauksella. Rakenteena 60 mm:n EPS-eriste ja 240 mm:n reikätiili. Tummat rappaukset (absortiokerroin 0.8) ovat A: rappauksen paksuus 3 mm ja B: rappauksen paksuus 20 mm. Vaaleat rappaukset (absortiokerroin 0.3) ovat C: rappauksen paksuus 3 mm ja D: rappauksen paksuus 20 mm. b) Eri värisävyjen pintalämpötilat 26 °C ilman lämpötilassa, mitattuja arvoja. c) Mustan pinnan lämpötilojen vaihtelu eri ilmansuunnissa /21,22/.

Mitä ohuempi pintakerros on sitä nopeampi ja suurempi on pinnan lämpötilavaihtelu. Seuraavassa taulukossa on lämmönsiirtokertoimen  $b$  arvoja eri materiaalille. Mitä pienempi  $b$  on, sitä suurempi on auringon säteilyn lämmittävä vaikutus ja sitä nopeammin rakenteen lämpötila muuttuu ympäröivän pinnan lämpötilan muuttuessa.

Taulukko 6.14 Materiaalien lämpöominaisuuksia

Rakennusaine	Lämmönjohtavuus $\lambda$ (W/mK)	Tiheys $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)	Lämmönsiirtokerroin $b$ (J/m <sup>2</sup> Ks <sup>0.5</sup> )
Mineraalinen rappaus	0.9	1800	1000	1272
EPS	0.04	15	1400	29
Mineraalivilla	0.04	130	840	66



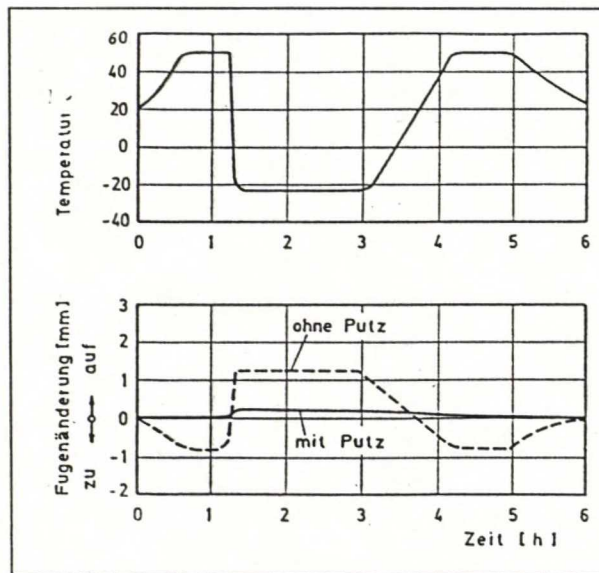
Kaasubetoni	0.12	400	1000	219
	0.16	500	1000	282
	0.22	600	1000	363
Tiili	0.24	700	900	388
Betoni	1.7	2300	900	1875

Lämmönsiirtokertoimen eron vaikutusta havainnollistaa seuraava taulukko

Taulukko 6.15 Lämpötilan nousu seinäpinnalla riippuen lämmönsiirtokertoimesta  $b$  ja pinnan absorboimasta auringon säteilyn intensiteetistä. Auringon säteilyn intensiteetti voi kesäpäivänä nousta noin  $600 \text{ W/m}^2$  asti.

Auringon säteilyn intensiteetti $\text{W/m}^2$	$b < 100$	$100 < b < 400$	$b > 400$
$100 < Q < 200$	+10	+5	0
$200 < Q < 400$	+20	+10	+5
$400 < Q < 600$	+30	+20	+10
$600 < Q < 800$	+40	+30	+20

Lämpötilan muutos aiheuttaa rakenteeseen pituuden muodonmuutoksia. Seuraava kuva havainnollistaa puskusauman leveyden vaihteluja lämpötilan muuttuessa.



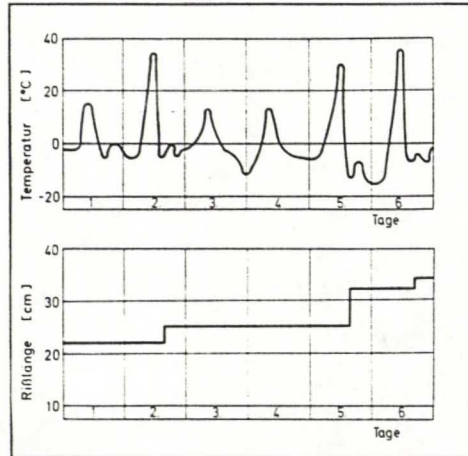
Kuva 6.9 Sauman leveyden vaihtelu ( pysty akseli, auf: auki ja zu: kiinni ) kahdella EPS-levyllä, joista toinen on ilman rappausta. Pinnan lämpötila vaihtelee 6 tunnin aikana välillä  $-20 \dots 50^\circ\text{C}$ . Ilman rappausta olevassa rakenteessa sauman leveyden vaihtelut ovat noin 2 mm. Rappaus estää sauman leveyden vaihtelut, jolloin rappaukseen muodostuu jännityksiä /21/.

EPS-eristeen pituuden lämpötilakertoimen suuruus yhdessä pinnan lämpötilavaihteluiden ja lämpötilaerojen kanssa muihin osiin verrattuna aiheuttavat rakenteeseen jännityksiä. Jännitykset riippuvat materiaalien suhteellisesta muodonmuutoksesta sekä rappauksen ja EPS:n kimmomoduulista. Mitä pienempi kimmomoduuli on, sitä pienempiä muodostuvat jännitykset ovat. EPS:n kimmomoduuli on suoraan riippuvainen tiheydestä, jolloin on edullista käyttää keveitä eristeitä.

Rakenteeseen muodostuu lämpötilan laskiessa ja rakenteen kutistuessa vetojännityksiä, jotka saattavat suurilla pinnoilla rappauksen pienestä kimmomoduulista huolimatta aiheuttaa rappauk-

sen vetolujuuden ylittymisen ja pinnan halkeilun. Toinen mahdollinen vaurioitumistapaus on materiaalikerrosten irtoaminen toisistaan sauman leikkauslujuuden ylittyessä.

Rakennetta vaurioittavat jännitykset muodostuvat 0 °C ympärillä tapahtuvien muodonmuutosten seurauksena. Lämpötilavaihteluiden suureneminen ja jatkuminen kasvattaa jo rakenteeseen muodostuneita halkeamia ja lämpötilan vaihtelun nopeus vaikuttaa halkemien muodostumiseen, vertaa seuraava kuva.



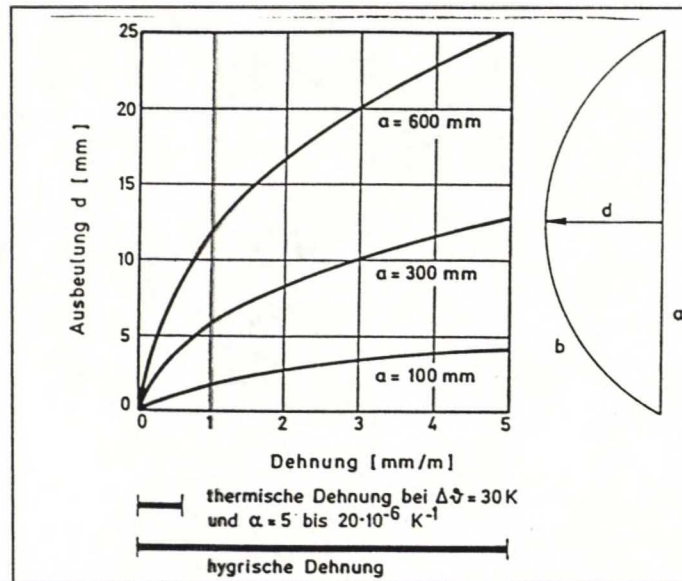
Kuva 6.10 Länsisuuntaisen seinän talviaikaisten lämpötilanvaihteluiden vaikutus halkeamien pituuden kasvuun kuuden päivän aikana. Rakenne EPS keinohartsirappauksella. Paikkakunta Holzkirchen, Saksa /21/.

Itään avautuvalla ilmansuunnalla julkisivun pinnan lämpötila lämpenee nopeasti ja jäähtyy hitaasti, länsiseinällä hitaampaa lämpenemistä seuraa nopeampi jäähtyminen auringon kiertosuunnasta johtuen.

Lisälämmöneriste pienentää olemassaolevan rakenteen lämpö- ja kosteusliikkeitä, jolloin rakenteen halkeamien liike pienenee. Mitä paksumpi eriste on, sitä pienempi on halkeamien liike. Samalla kasvaa rakenteen kyky vastaan ottaa pohjarakenteen liikkeitä.

Rakenteen pintaan muodostuvat halkeamat mahdollistavat kosteuden kulun rakenteen sisään, jolloin pintakerroksen ja sen alla olevan laastin kosteuspitoisuus kasvaa mikäli pintarappauksen vesihöyrynläpäisykyky on muuta rakennetta selvästi pienempi, pintarappauksen alle muodostuu kosteuskeräytyksiä. Kosteuspitoisuuden nousu saattaa aiheuttaa rakenteeseen pakkasvaurioita ja heikentää rappauksen tartuntalujuutta. Tartuntalujuuden heikentyminen aiheuttaa pintarappauksen irtoamisen, jolloin pintarakenteen muodonmuutokset eivät ole estettyjä ja rakenne irtoaa kokonaan alustastaan tai muodostaa kuplia ja laajentumia. Tartuntalujuuden heikentyminen yhdessä rakenteen muodonmuutosten kanssa aiheuttaa pinnan kaareutumista, jota on selvitetty seuraavassa kuvassa.





Venymä	0	1	2	3	4	5	mm/m	$\Delta l_a = b-a$
$\Delta l_a = 100\text{ mm}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	mm	
$\Delta l_a = 300\text{ mm}$	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	mm	
$\Delta l_a = 600\text{ mm}$	0	0.6	1.2	1.8	2.1	3.0	mm	

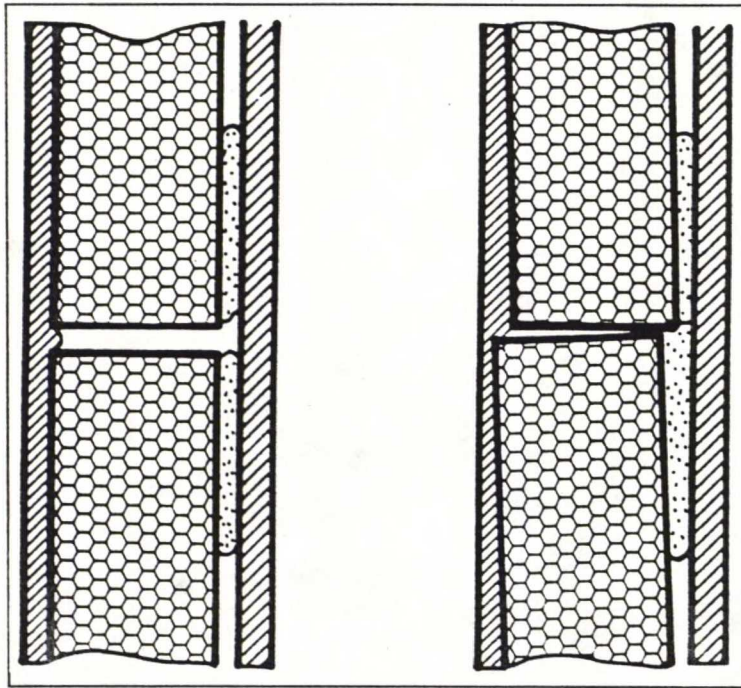
Kuva 6.11 Pullistuman  $d$  ja kaarevan lineaarisen venymän yhteisvaikutus irrallaan olevilla kerroksilla, joiden mitta  $a$  on 100, 300 tai 600 mm. Pullistuman on oletettu olevan ympyrän segmentin muotoinen. Kuvan lukeminen; 3 mm/m kosteusmuodonmuutos aiheuttaa halkaisijaltaan 300 mm:n pintaan 0.9 mm:n pituuden muutoksen (taulukko). Suhteellisen pieni pituuden muutos aiheuttaa kuvan mukaisesti 10 mm:n pullistuman. Lämpötilan vaikutus pituuden muutokseen on pienempi kuin 1 mm/m, joka riippuen pinnan halkaisijasta voi aiheuttaa jopa yli 10 mm:n pullistuman. Lämpö- ja kosteusmuodonmuutokset ovatkin toisistaan riippuvaisia, kosteuspitoisuuden vaikuttaessa myös rakenteen materiaaliominaisuuksiin [21].

### 6.14.3 HALKEILU

Halkeaman vaikutus rakenteen sadesuojan heikkenemiseen riippuu halkeaman laadusta, leveydestä ja rappauksen sekä rappauspohjan ominaisuuksista, jolloin yleispätevää arviointia halkeamasta ei voi tehdä.

Itse halkeama riippuu rappausmateriaalin tai rappauspohjan ominaisuuksista. Alkuperäinen pohjarakenne ei vaikuta materiaaliriippuvaisiin halkeamiin. Halkeamat eivät yleensä ulotu verkko-laastiin asti. Halkeamat kasvavat sitä enemmän mitä tiheämpi halkeilukuvio on. Kutistumahalkeamat mineraalisella ja haurasmurtuman aiheuttamat halkeamat keinohartsirappauksella ovat materiaaliominaisuuksista riippuvia halkeamia.

Rappauspohjasta aiheutuu halkeamia iskuista, etenkin lämmöneristeen ollessa asetettuna huolimattomasti (vertaa seuraava kuva) tai eristelevyssä tapahtuu jälkikutistumaa tai vahvisteverkko ei ole oikein asennettu. Lisäksi jos kiinnitystulppa on liian jäykkä ja estää hygrotermisiä muodonmuutoksia, rakenteeseen muodostuu halkeamia.



Kuva 6.12 Lämmöneristeen asennusvirheitä. Huolimatta vahvisteverkosta, rappaukseen voi muodostua halkeamia avonaisen sauman kohdalle rappauspaksuuden vaihdella ja eristelevyn tartuntapinnan puuttuessa. Lisäksi levyjen hammastus aiheuttaa pintarappauksen paksuuden ja jännitysjakauman muutoksia, jotka voivat johtaa pinnan halkeiluun /55/.

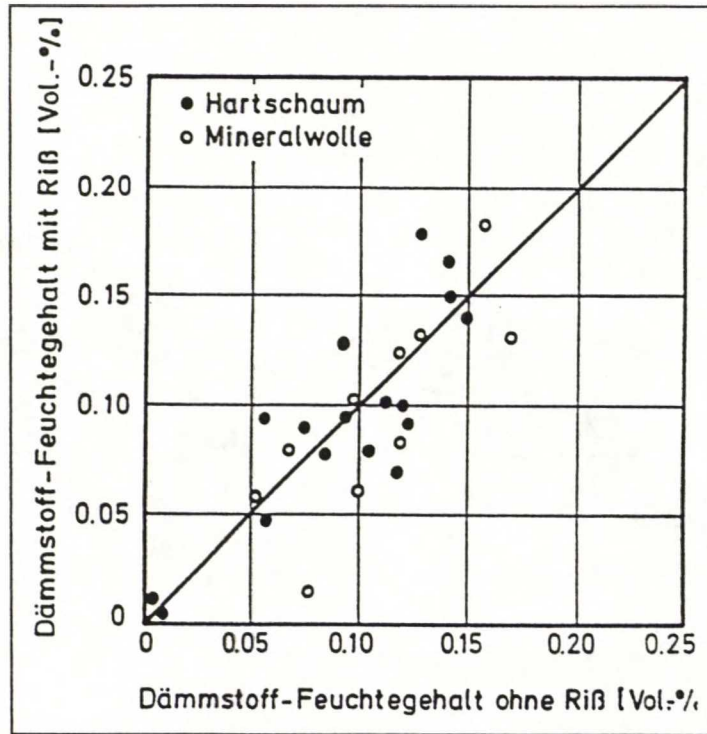
Eristelevyjen liitoskohdassa tai kiinnitystulpan pullistuman kohdalla oleva halkeaman leveys muuttuu termisten rasitusten vaikutuksesta. Kosteusmuodonmuutosten ja kosteusrasitusten aiheuttamiin halkeamiin vaikuttaa eniten eristelevyn pinnalla olevien rakenteiden ominaisuudet. Imukykyisellä alustalla (esim. tiili) rakenteen läpi menevä halkeama toistuvan saderasituksen alaisena olevalla seinällä aiheuttaa halkeaman ympärillä kosteuspitoisuuden kohoamisen, etenkin pintakerrosten vedenimukykyyn ollessa pieni. Tällaisessa tapauksessa tiilirakenteessa oleva kosteus kulkeutuu vain diffuusiolla. Pintakerrosten ollessa vedenimukykyisiä, kosteus voi kulkeutua osittain myös kapillaarisesti.

EPS-eristeessä veden kapillaarinen liike ei ole kuitenkaan mahdollista, jolloin vedenimukyvyllään pienten rappauksen käyttö ei ole eristeen kannalta tarpeellista. Tällainen rappaus on kuitenkin yleinen, jolloin pinnan materiaaleilla on eristeiden kannalta vain suojafunktio.

Keinohartsirappauksen diffuusiovastus vaihtelee mittaustavan mukaan, materiaalilla on suurempi diffuusiovastus kuivissa kuin kosteissa olosuhteissa. Eristeen kosteuspitoisuus voi periaatteessa nousta myöhemmin tapahtuvan kosteuden kuivumisen ollessa pienempää kuin saderasituksen aikana tapahtuva kosteuden pääsy rakenteeseen. Kuitenkin suuntaus kohti vesihöyrynläpäisevempiä tuotteita estää diffuusiovastuksen eroista aiheutuvan eristeen kosteuspitoisuuden vaihtelun.

Sadeveden kosteuden kulkeutuminen läpi kantavan rakenteen tai elementin on mahdollista vain asennusvirheestä johtuen. Kosteuskonvektio on mahdollista eristelevyn asennus- tai levyn liimausvirheen takia. Seurauksena on rakenteen lämmöneristyskyvyn heikkeneminen ja vaurioitumisriskin kasvaminen. Rakenteissa ei ole kuitenkaan havaittu eristeen kosteudesta aiheutuvaa halkeamaa. Lähteessä /30/ on suoritettu EPS-eristelevylle ja mineraalivillalle eristeen kosteuspitoisuusmittauksia pintahalkeaman kohdalla, vertaa seuraava taulukko 6.16.





Kuva 6.13 Eristeen kosteuspitoisuus pintarappauksen kohdalla solupolystyreenille ja polyuretaanilevyille sekä mineraalivillalle. Kaikkien materiaalien kosteuspitoisuus on pysynyt alle 0.20 til-% /23/.

Taulukko 6.16 Mitattuja arvoja solupolystyreenin kosteuspitoisuudelle pintarappauksen halkeaman kohdalla Fürstenfeldbruckissa Saksassa

Mittausajankohta	Kosteuspitoisuus [paino-%] ehjä pinta	halkeaman kohdalla
lokakuu 1993	2.2	2.3
maaliskuu 1994	2.1	2.1

Muutettaessa kosteuspitoisuudet tilavuusprosentteiksi eristeen tiheyden ollessa  $15 \text{ kg/m}^3$ , saadaan tulokseksi noin 0.0345 til-%, mikä vastaa edellisen kuvan mukaisia arvoja.

Yleisesti halkeamat eivät heikennä ohutrappausrakenteita, joissa on lämmöneristeenä EPS tai kova mineraalivilla, halkeamat ovat pikemminkin kauneusvirhe. Syynä tähän on eristeen kosteustekniset ominaisuudet, EPS ei ole hygroskooppinen eikä sillä ole kapillaarisia ominaisuuksia. Lisäksi ohutrappaus tuotteilta vaaditaan pientä vedenimukykyä ja vesihöyryn vastustuskykyä rajoitetaan ( $s_d$  arvo alle 2 m), jottei pintarappauksen alle kertyisi kosteutta.

#### 6.14.4 HALKEAMIEN KORJAUS

Rappausmateriaalista johtuvat hiushalkeamat näyttävät yleensä leveämmiltä halkeamiin kertyneen lian vuoksi. Halkeamat, jotka eivät liiku lämpö- ja kosteusvaihteluiden mukana, voidaan peittää pintarappaukseen sopivalla silikon- tai silikaattimaalilla, jolloin halkeamat eivät enään kastu ja kerää likaa. Maalaus ei kestä halkeamien ollessa leveämpiä ja leveyden vaihdellessa lämpötilan mukana, jolloin halkeama tulee täyttää alkuperäisellä rappausmateriaalilla.

## 6.15 RAKENTEEN HUOLTO

Rakenne ei likaannu tai vaurioidu vuotovedestä huolehtimalla ja seuraamalla vesipeltien, syöksyturvien, räystäiden, liikuntasauvojen ja pinnan kuntoa yleensä. Törmäysten ja iskujen aiheuttamat vauriot voidaan korjata liimalaastilla ja ohutrappauksella. Paikkaus vaatii erittäin huolellisen työsuorituksen ollakseen erottumatta alkuperäisestä pinnasta. Käsiteltävään kiinteistöön jätetään tiedot materiaalin toimittajasta, materiaalin värimuotoista ja laastin raakoista esim. rakennuksen huoltokirjaan tai varastoida materiaaleja mahdollisia korjauksia varten. Materiaalien varastointiaika rajoittuu kuitenkin yleensä yhteen vuoteen.

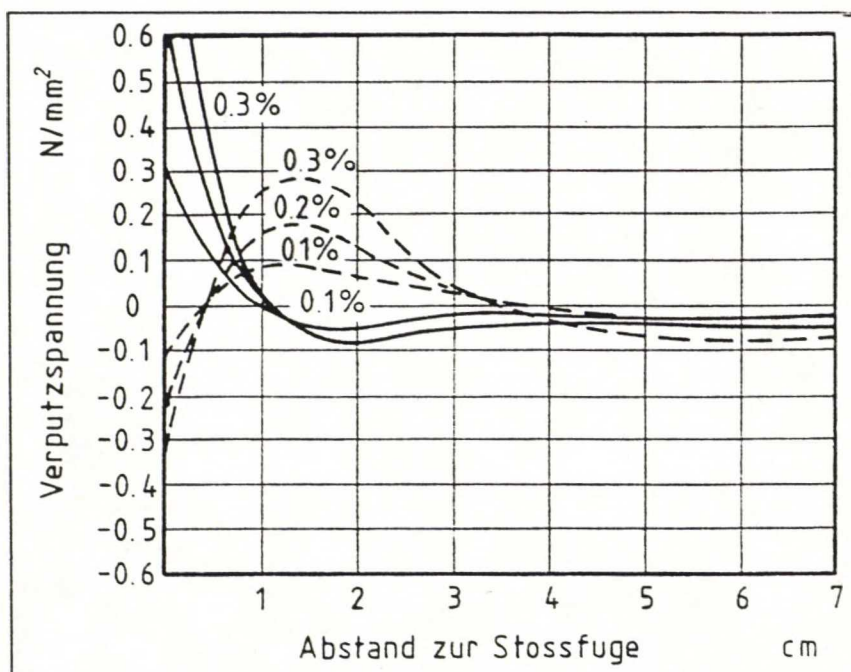
Julkisivuun myöhemmin kiinnitettävien varusteiden ja laitteiden kiinnitystapa voi olla lyönti-, kiila- tai naulattava ankkuri. Kiinnikkeen ja rappauspinnan liitoskohta tiivistetään elastisella massalla.

Pinnalle voidaan suorittaa huoltomaalaus noin 15 vuoden välein tai pinnan kunnon mukaan. Pintaa voidaan pestä normaaleilla pesuaineilla korkeapainepesulaitteella, korkeintaan 50 barin paineella. Pinta voidaan käsitellä suoja-aineella (mm. polyuretaanipohjaiset kestopinnoitteet) lian ja töhryn (graffitit ja tagit) poiston helpottamiseksi sekä pinnan likaantumisen estämiseksi.

Rakenteen käyttöiäksi on käyttökokemusten mukaan luokiteltu noin 30 vuotta, joka on myös EOTA:n (European Organisation for Technical Approvals) käsitys lämmöneristeen päälle tulevien rappauksen käyttöiästä.

## 6.16 PINNAN JÄNNITYSJAKAUMA

Eristelevyn kutistuma aiheuttaa rappaukseen jännityksiä kuvan 6.14 mukaisesti.



Kuva 6.14 Rappauksen jännitys riippuen etäisyydestä levyn reunaan. EPS-levyn paksuus on 40 mm, kimmomoduuli  $E$  on  $10 \text{ N/mm}^2$ , pituuden lämpötilakerroin  $\alpha$  on  $56 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ , rappauksen paksuus 9 mm ja rappauksen  $\alpha$  on  $15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ . Rappauksen on oletettu olevan ehjä ja toimivan yhdessä EPS-levyn kanssa. Kutistuman arvon kasvaessa (0.1...0.3 %) jännitys kasvaa, joten eristeen paksuntaminen ja kutistumisen kasvaminen aiheuttaa suurempia jännityksiä [38]. EPS-



levyn kutistuma aiheuttaa verkkolaastikerrokseen vetojännityksiä ja pintarappaukseen puristus(paine)jännityksiä. Kutistuman arvo kasvaa vuosien myötä, lähteen /38/ tutkimuksessa kutistuman arvo vuoden jälkeen on 0.19 %, 2 vuoden 0.27 %, kolmen 0.31 % ja neljän 0.33 % sekä viiden vuoden jälkeen 0.35 %. Seuraavassa taulukossa on esitetty rappauksen jännitys eristelevyn kutistumasta eri eristelevyn paksuuksilla ja eri aikoina.

Taulukko 6.17 Rappauskerroksen jännitys eristelevyn kutistumasta,  $\sigma_{\text{ulko}}$  on  $\sigma_{\text{ulkopinta}}$  ja  $\sigma_{\text{sisä}}$  on  $\sigma_{\text{sisäpinta}}$

EPS-levyn paksuus [mm]	E rappa us N/m <sup>2</sup>	1 vuoden jälkeen $\sigma_{\text{ulko}}$ $\sigma_{\text{sisä}}$	2 vuoden jälkeen $\sigma_{\text{ulko}}$ $\sigma_{\text{sisä}}$	3 vuoden jälkeen $\sigma_{\text{ulko}}$ $\sigma_{\text{sisä}}$	4 vuoden jälkeen $\sigma_{\text{ulko}}$ $\sigma_{\text{sisä}}$	5 vuoden jälkeen $\sigma_{\text{ulko}}$ $\sigma_{\text{sisä}}$
40	1750	-0.22 0.37	-0.32 0.52	-0.37 0.60	-0.39 0.64	-0.41 0.68
60	1750	-0.25 0.40	-0.35 0.57	-0.40 0.66	-0.43 0.70	-0.45 0.74
80	1750	-0.27 0.44	-0.38 0.63	-0.44 0.72	-0.47 0.77	-0.50 0.81
100	1750	-0.29 0.48	-0.42 0.68	-0.48 0.78	-0.51 0.83	-0.54 0.88

EPS-levyn kutistumasta aiheutuva jännitys kasvaa lähes kaksinkertaiseksi viiden vuoden aikana. Rappauksen jännitys on suoraan verrannollinen kimmomoduuliin, eli rappauksen kimmomoduulin ollessa esim. 600 N/mm<sup>2</sup> (Dispo<sup>therm</sup>) jännitys vuoden kuluttua 60 mm levyllä 0.19 % kutistumalla olisi 600/1750·(-0.25 tai 0.40) = -0.12 tai 0.15 N/mm<sup>2</sup>. Isoran EPS-levyn ilmoitettu jälkikutistuma on alle 0.2 %. Rakenteen lujuutta voidaan kasvattaa paksuilla eristelevyillä (> 100 mm) tai urittamalla levyn pinta, jolloin leikkauskestävyys voi kasvaa jopa nelinkertaiseksi (6-6 mm urat k100 mm).

## 6.17 JÄNNITYKSET RAPPAUKSEN KUTISTUMASTA

Rappauksen kutistumista tapahtuu sementin ollessa ainesosana mineraalisilla rappauksilla ja verkkolaasteilla yleisesti. Kutistuman arvot ovat melko suuria, esim. Alsecon materiaaleilla 0.8 mm/m, mutta kutistuminen ja jännitykset aiheutuvat hitaasti, jolloin rappauksen relaksaatio tasaa jännityksiä, jolloin rappaukseen ei ole todettu aiheutuvan jännityksiä itse rappauksen kutistumasta. Kutistuman aiheuttamat jännitykset aiheuttavat halkeiluvaaran rakenteen teossa aiheutuneisiin työvirheisiin. Mikäli työvirheitä ei esiinny, kutistuma ei aiheuta rappaukseen halkeiluvaaraa.

## 6.18 JÄNNITYKSET LÄMPÖTILANVAIHTELUISTA

Lähteessä mitattiin verkotuslaasteille, joissa oli lasikuituinen vahvisteverkko, vetojännityksen arvoja 3.0...7.0 N/mm<sup>2</sup>. Lisäksi 12:sta erilaisille laasteille mitattiin vetomurtolujuuksia välillä 4.0...12.0 N/mm<sup>2</sup>, joten vahvisteverkolla on melko vähäinen merkitys verkkolaastikerroksen vetolujuuden arvoihin. Verkon merkitys korostuu laastikerroksen murtumisen jälkeen, jolloin verkko jakaa jännitykset laajemmalle alueelle ja estää leveämmän halkeaman muodostumisen. Pintarappaukseen muodostuu mikrohalkeamia väistämättä, sillä pintarappauksen vetolujuuden

arvot ovat yleisesti melko pieniä,  $\sigma$  on  $0.5 \dots 1.5 \text{ N/mm}^2$ . Jännityksen suuruutta termisistä rasituksista voidaan arvioida kaavalla

$$\sigma = 150 \cdot \alpha_p \cdot E_p - 1.5 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \text{kaava (6.6)}$$

jossa  $\alpha_p$  on pituuden lämpötilakerroin [ $1/\text{K}$ ]  
 $E_p$  on rappauksen kimmomoduuli

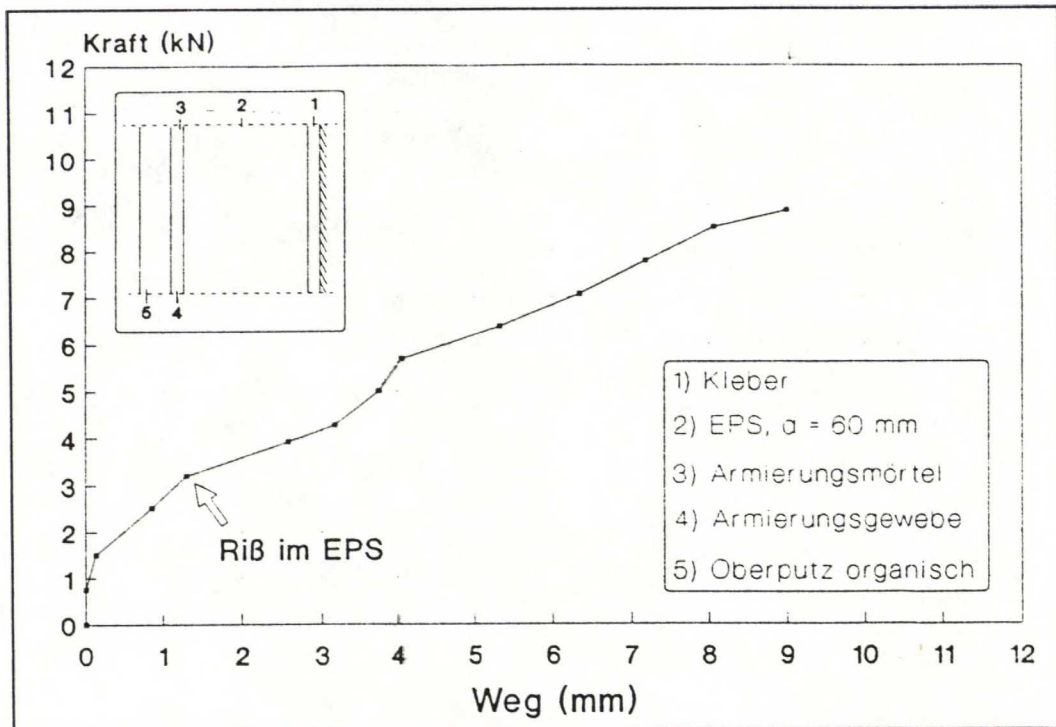
Esimerkkinä termisen jännityksen arvoja. Rappausmateriaalina

$$\text{Dispohtermin tuotteet } \sigma = 150 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 600 - 1.5 = -0.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Alsecon tuotteet } \sigma = 150 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 3300 - 1.5 = 3.45 \text{ N/mm}^2$$

Orgaanisten rappausmateriaalien kimmomoduulit ovat lämpötilasta riippuvaisia,  $E_p$  laskee lämpötilan kasvaessa ja kasvaa lämpötilan laskiessa, jolloin vakioarvoilla laskettaessa Hookeen lakia ei voida tarkkoja arvoja haluttaessa soveltaa jolloin yksityiskohtaisten materiaaliarvojen puuttuessa kaavan antamat tulokset ovat suuntaa antavia.

Rakenteelle, jossa oli 60 mm EPS-levy, orgaaninen keinohartsia oleva pintarappaus ja verkotuslaasti lasikuituverkkoineen, mitattiin vetomurtolujuuksia keskeisellä vetorasituksella, vertaa seuraava kuva. Rakenteeseen muodostui halkeamia leveydeltään 1.3 mm EPS-levyyn ja kiinnitys-laastikerrokseen, mutta pintarappaus säilyi ehjänä ja rakenteen murto tapahtui leikkausmurtona eristelevyn ja verkkolaastikerroksen välillä.

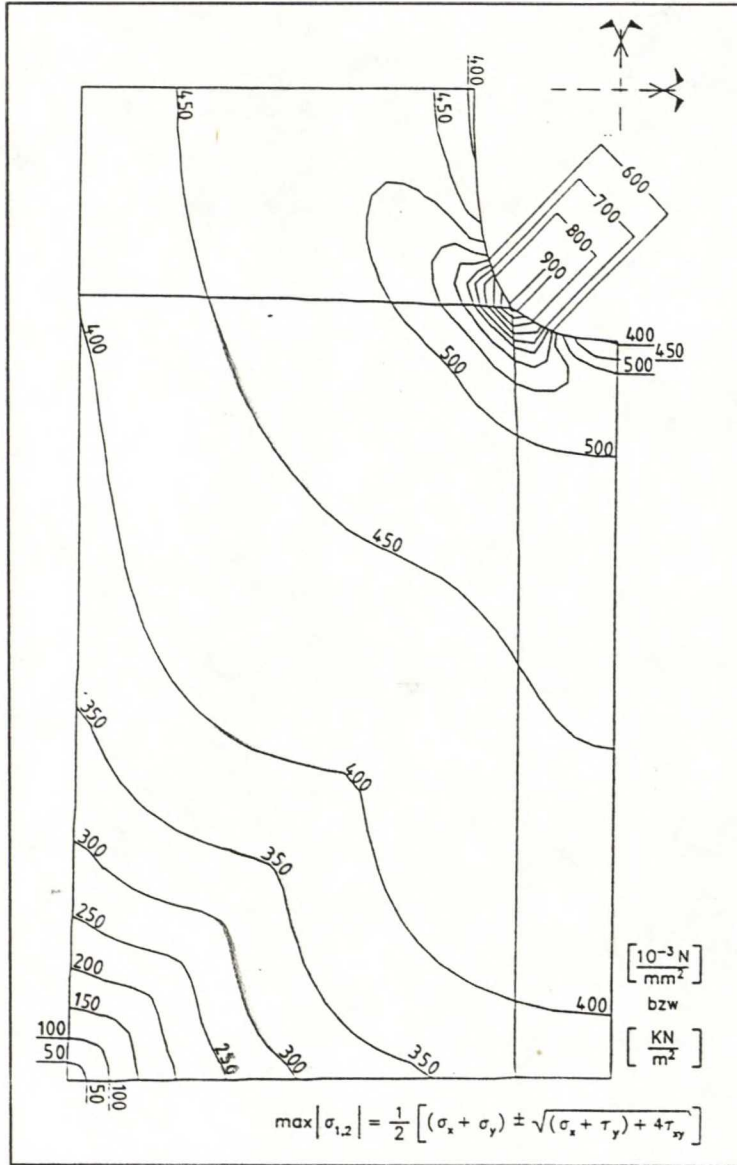


Kuva 6.15 Voima (kN)-venymä (mm) käyrä EPS-ohutrappausjärjestelmästä. Kuvan merkinnät; 1 on kiinnityslaasti, 2 on EPS, paksuus 60 mm, 3 on verkkolaastikerros, 4 on lasikuituverkko ja 5 on pintarappaus /38/.

Rakenteen pinnan muoto ja yksityiskohdat vaikuttavat pintarakenteen muodonmuutoksiin. Ikkuuna tai aukko seinäpinnassa aiheuttaa rappaukseen jännityksiä pinnan muodonmuutoksen olles-



sa aukon kohdalla estetty. Jännityksen suuruus riippuu pinnan geometriasta ja materiaaliominaisuuksista, vertaa seuraava kuva



Kuva 6.16 Julkisivupinnan rappausjännitykset. Rakenteen mitat; leveys 3000 mm, korkeus 5000 mm, aukon mitat 500·1000 mm<sup>2</sup>. Materiaalina mineraalinen rappaus, paksuus 20 mm, kimmo-  
moduuli 1250 N/mm<sup>2</sup> ja pituuden lämpötilakerroin  $8.0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ .

Rappauksen jännitykset aukon kulmassa ovat noin kaksinkertaiset pinnan jännityksiin verrattuna. Ohutrappauksella jännitysjakama on samankaltainen, jolloin rakenne ei kestä pinnan muodonmuutoksia ilman aukkojen kulmiin asetettavia erillisiä diagonaalivahvisteverkkoja.

## 7. FEM-LASKENTA

Rakenteen termodynaamisia ja kutistumarasituksia mallinnettiin InterPro 2020 Integraph Micas + vrs 4.3 FEM- laskentaohjelmalla. Seinärakenteen mallin pituus oli 10 m ja leveys 200 mm. Rakenne muodostui yhtenäisestä pintakerroksesta, laastikerroksesta (ilman vahvisteverkkoa) ja EPS-levystä. Eristelevy oletettiin yhtenäiseksi, jolloin tarkastelussa ollaan ns. varmalla puolella. Kerrosten materiaaliominaisuudet esitetään seuraavassa taulukossa.

Taulukko 7.1 Laskentamallin materiaaliarvot; laskentatapaukset 1 ja 2

Kerros	Paksuus mm	Pituuden lämpötilan kerroin $\alpha$ 1/K $\cdot$ 10 $^{-6}$	Kimmomoduuli E N/mm $^2$ E $_1$ ja E $_2$	Liukumoduuli N/mm $^2$
Eristelevy EPS	50 mm	50	E $_1$ =E $_2$ =2300	E $_1$ =E $_2$ =1100
Verkkolaasti	6 mm	10	E $_1$ =9300, E $_2$ =5000	E $_1$ =3000, E $_2$ =1500
Ohutrappaus	3 mm	10	E $_1$ =3300, E $_2$ =600	E $_1$ =1000, E $_2$ =200

Materiaalikerrokset eivät pääse vapaasti liikkumaan toisiinsa nähden vaan kerrosten välinen tartunta aiheuttaa kerrosten yhtenäisen toiminnan liittorakenteena. Eri kerrosten tartuntaominaisuuksia ja rakenteen mekaanista kiinnitystä kuvattiin 200 $\cdot$ 200 mm $^2$  kokoisella jatkuvalla koko rakenteen läpi pystysuunnassa menevillä ”kuutioilla”, solmukohdilla.

Kappaleen koordinaatistossa x-akselin suunta on rakenteen pituus, 10 m, y-akselin suuntana kappaleen leveys 200 mm ja z-akselin suuntana kappaleen kokonaispaksuus, 59 mm.

Lämpötilan ja jännitysten jakautumista eristekerroksen paksuussuunnassa mallinnettiin jakamalla eristelevy viiteen yhtäsuureen osaan, osan paksuus 10 mm. Muut materiaalikerrokset ovat niin ohuita, että tyydyttiin yhteen kerrokseen ja lämpötilan oletettiin kerroksissa vastaavan ulkolämpötilaa.

Laskennassa käytettiin kahta eri laskentamallia kahden eri valmistajan Dispotherrin ja Alsecon materiaaliarvoilla. Laskentamalli nro 2:ssa EPS kiinnitettiin kahteen betonisandwich-elementtiin, joiden materiaaliarvot ovat seuraavassa taulukossa.

Taulukko 7.2 Laskentamalli 2, pohjarakenteena betonisandwich-elementti. Lujuusluokka K 30.

Pituus	4900 mm
Paksuus	80 mm
Pituuden lämpötilakerroin $\alpha$	12 $\cdot$ 10 $^{-6}$ 1/K
Kimmomoduuli E	27 000 N/mm $^2$

Laskentamalli 1:ssä kaikki siirtymät ja kiertymä x-akselin ympäri ovat estettyjä. Laskentamalli 2:ssa siirtymät ja x-akselin kiertymä on estetty ja sandwich elementit on kiinnitetty rakenteen pituussuunnassa elementtien keskikohdista, joiden suhteen lämpölaajeneminen tapahtuu.

Laskentamalli 2:n elementtien välinen saumarakenne on 200 mm leveä eli mallista on jätetty pois yksi pystysuuntainen solmurakenne betonisandwichin kohdalta, kooltaan 200 $\cdot$ 200 mm $^2$ . Muut materiaalikerrokset menevät yhtenäisenä rakenteen sauman yli.



Rakennemallien rasitukset muodostuvat lämpötilan vaihteluista ja eristeen ja verkkolaastin kutistumasta. Rakenteen kuormitustekijät: /9/

Lämpötilan vaihtelu.....	kuormitustapaus 1: $-30^{\circ}\text{C} \dots + 45^{\circ}\text{C}$ kuormitustapaus 2: $-40^{\circ}\text{C} \dots + 50^{\circ}\text{C}$
EPS-eristeen kutistuma.....	0.2 %
Verkkolaastin kutistuma.....	kuormitustapaus 1: 0.08 % kuormitustapaus 2: 0.179 %

## 7.2 RAKENTEEN JÄNNITYSJAKAUMA

### 7.2.1 KUORMITUSTAPAUUS 1

Rakenne käyttäytyy eri tavalla eri kuormitustapauksissa. Lämpörasituksessa rakenne pyrkii käyristymään, rakenteen muoto on kupera, jolloin rakenteen päiden solmukohtien rasitus on puristus- ja muiden, rakenteen sisäosien solmukohtien vetorasitusta.

Pakkasrasituksessa rakenne pyrkii myös käyristymään, pinnan muoto on kovera ulkoapäin eli pintarappauksen suunnasta katsottuna. Rakenteen päiden solmukohdissa on vetoa ja kentän solmukohdissa puristusrasitusta. Lämpö- ja pakkasrasituksissa rakenteen muoto johtuu eristelevyn pituuden lämpötilakertoimen arvon suuruudesta verrattuna muihin kerroksiin ja lämpötilan eroista rakenteen pystysuunnassa.

Eristelevyn kutistuma aiheutti rakenteen päiden solmukohtiin vetojännityksiä ja muihin solmuihin puristusjännityksiä, jolloin rakenne pyrkii käyristymään koveraksi. Eristelevyn jännitykset ovat vetojännityksiä ja pintakerrosten jännitykset puristusjännityksiä, mikä tukee käyristymämallia.

Verkkolaastikerroksen kutistuminen aiheutti laastikerrokseen vetojännityksiä, pintakerrokseen ja eristelevyn puristusjännityksiä. Rakenne pyrkii käyristymään koveraksi, jolloin rakenteen päiden solmukohdissa on veto- ja muissa solmuissa puristusjännityksiä.

Rakenteen käyristyminen johtuu pintamateriaalien ja EPS:n erilaisista pituuden lämpötilakertoimista, EPS:n arvo on 5...7 kertainen verkkolaastin arvoon verrattuna, vaihteluväli johtuu arvon lämpötilariippuvuudesta.

### 7.2.2 KUORMITUSTAPAUUS 2

Mallin pohjarakenteena oli betonisandwich-elementti ja rakenteen suurimmat jännitykset kohdistuivat pääasiassa elementtien väliseen saumaan. EPS-levyn ja laastikerroksen kutistumasta aiheutuneisiin jännityksiin ei saumarakenne vaikuttanut ja suurimmat jännitykset esiintyivät muualla rakenteessa. Rakenteen muoto rasitusten alaisena on samankaltainen kuin kaksiaukkoisen palkin taipumakuvio. Rakenteen kiinnityskohdat eli pisteet, joiden suhteen liikkeet tapahtuvat ovat 4900 mm pitkien elementtien keskikohdat, jolloin suurimmat rasitukset keskittyvät rakenteen päihin ja saumakohtaan. Sauman väli, 200 mm vastaa todellisen EPS-levyn kiinnitystä, jossa liimalaastia on vain osalla levyn pinta-alasta ja kiinnikkeitä on vain levyn reunoissa ja keskellä, jolloin eristeen kiinnittämättömien osien väli on lähellä 200 mm:ä. Seuraavassa taulukossa on rakenteen eri kuormituksista aiheutuneet jännitykset ja jännitysten yhteisvaikutus, puristusjännityksellä on negatiivinen arvo.



Taulukko 7.3 Rakenteen jännitysjakauma [N/mm<sup>2</sup>], kuormitustapaus 1/2

Kuormitus	EPS	Laasti	Ohutrappaus
Lämpö	-0.0009 / -0.0089	-0.99 / -2.98	-0.53 / -0.43
Pakkanen	0.0023 / 0.025	2.40 / 8.03	1.28 / 1.11
Laastin kutistuma	-0.0004 / -0.0018	1.29 / 5.97	-2.10 / -0.63
EPS-eristeen kutistuma	0.0006 / 0.0046	-0.01 / -0.0027	-0.0046 / -0.0053
Kuormitus yhteensä			
kun + 45/50°C	-0.0007 / -0.0061	0.29/2.98	-2.63 / -1.06
kun - 30/-40 °C	0.0025 / 0.0278	3.68/14.00	-0.82 / 0.47
Materiaalin lujuus [N/mm <sup>2</sup> ]			
veto	0.05	7.5 / 6.73	1.3 / -
puristus	0.02	-20 / -13.8	-2.8 / -

Seuraavassa taulukossa rakenteen jännitykset ilman eristelevyn ja laastikerroksen kutistumia eli kuormitukset vain termisistä rasituksista

Taulukko 7.4 Termisten rasitusten aiheuttamat jännitykset [N/mm<sup>2</sup>], kuormitustapaus 1/2

Kuormitus	EPS	Laasti	Ohutrappaus
Kuormitus yhteensä			
kun + 45/50°C	-0.0009 / -0.0089	-0.99 / -2.98	-0.53 / -0.43
kun - 30/-40 °C	0.0023 / 0.0250	2.40 / 8.03	1.28 / 1.11
Materiaalien käyttöaste %	4.5 / 44.5 4.6 / 50	4.9 / 21.6 32 / 119	18.9 / - 98.4 / -

Laskentatapauksessa 2 suurimmat jännitykset esiintyivät elementtien saumarakenteessa. Seuraavassa taulukossa vertaillaan sauman ja muun rakenteen jännityksiä termisistä rasituksista.

Taulukko 7.5 Saumarakenteen jännitys verrattuna muun rakenteen jännitykseen. Sauma/muu [N/mm<sup>2</sup>]

Rasitus	Pakkanen			Lämpö		
Materiaali	Sauma	Muu raken- ne	ero %	Sauma	Muu raken- ne	ero %
Ohutrappaus	1.11	0.97	15	-0.43	-0.38	12
Laasti	8.03	4.89	64	-2.98	-1.93	54
EPS	0.025	0.014	81	-0.008	-0.006	28

Kappaleen muodonmuutokset ja jännitykset keskittyvät elementtien päihin eli saumarakenteeseen, jolloin sauman jännitykset ovat muuta rakennetta selvästi suuremmat. Tämä vastaa vaakasuunnassa todellista elementtirakennetta, jossa keskellä elementtiä on yleensä ansas. Pystysuunnassa elementeissä on käytetty diagonaaliansasta, joka estää elementin muodonmuutoksia ja saumarakenteeseen ja erityisesti laastikerrokseen keskittyvä jännitys ei ole näin suuri, jolloin laskentatarkastelun oletus elementin keskikohdan kiinnityksestä on tarkastelusuunnista vaarallisempi. Ansaiden vaikutus syntyyiin jännityksiin ja muodonmuutoksiin on kuitenkin pieni.

### 7.3 LASKENTATULOSTEN ANALYSOINTI

Laskelman mukaan pakkasrasituksesta aiheutuvat vetojännitykset ylittävät rakenteen saumassa laastikerroksen lujuuden muiden kohtien pysyessä ehjinä. Laastin vetolujuus vahvisteverkon



kanssa on lujuuden  $35.3 \text{ N/mm}^2$  /8/ perusteella  $200 \text{ mm}$  leveälle ja  $6 \text{ mm}$  paksulle laastikerrokselle  $5.88 \text{ N/mm}^2$ , mikä on pienempi kuin kerroksen rasitus ja lisäksi pienempi kuin mitattu laastin taivutusvetolujuus, joten tuloksen soveltaminen kyseisille laastikerroksen mitoille ei ole luotettavaa eli laastikerros ei laskelman mukaan kestä  $-40^\circ\text{C}$  pakkasrasitusta elementin saumakohdassa.

Eristeen sauman sattuminen elementin sauman kohdalle ei juurikaan lisää rakenteen jännityksiä. Ohutrappaukseen ja laastikerrokseen liittyviä jännityksiä voidaan laskentamalli 2:n pohjalta arvioida siirtämällä eristelevyn jännitykset jäykkyyden, kimmokertoimen ja kerrosten poikkileikkauspinta-alan suhteessa muille kerroksille. Seuraavassa taulukossa kuvataan sauman jännitysten muutosta eristelevyn sauman osuessa elementin sauman kohdalle.

Taulukko 7.6 Sauman jännityksien muutos eristelevyn sauman ja elementin sauman osuessa kohdakkain

Materiaali/rasitus	Pakkanen	Lämpö	Laastin kutistuma
Ohutrappaus	1.95 %	1.91 %	17.07 %
Laasti	2.24 %	2.28 %	0.00 %

Ero on merkityksetön, laastin kutistuma aiheuttaa ohutrappaukselle suuremman lisäyksen noin 17 %, rakenteen kestävyys ei kuitenkaan ylitä, sillä puristuskapasiteettia ei ole täysin käytetty.

Kutistumat lisäävät pintarakenteen jännityksiä. Eristelevyn kutistuma vahvistaa ohutrappauksessa lämpörasituksen aiheuttamaa puristusrasitusta ja heikentää pakkasen aiheuttamaa puristusjännitystä. Vaikutus on kuitenkin erittäin pieni, joten EPS-levyn 0.2 % kutistumalla ei laskelman perusteella ole vaikutusta rakenteen jännityksiin.

Laastin kutistuma vahvistaa pakkasrasituksen aiheuttamaa vetorasitusta laastikerroksessa. Laskentamallissa 1 laastin kutistuman aiheuttama jännitys laastikerroksessa on vielä pakkasen aiheuttamaa vetojännitystä pienempi, mutta laskentamallissa 2, jossa kutistuman arvo on yli kaksinkertainen verrattuna laskentamallin 1 arvoon, kutistuman aiheuttama jännitys on suuri,  $5.97 \text{ N/mm}^2$ , joka on kuitenkin pakkasen aiheuttamaa jännitystä ja laastin vetolujuutta pienempi. Laastikerroksen kutistuman arvot perustuvat vapaan kutistuman mittaustuloksiin /47/. Todellisessa rakenteessa laastikerros on tartunnalla kiinni EPS-levyssä, jolloin laastin kutistuma on esitettyä kutistumaa.

Laskentamallissa jännitys nousee korkeaksi, koska mallissa oletetaan muodonmuutoksen ja jännityksen suhteen olevan suoraviivainen. Todellisuudessa laastikerroksessa tapahtuu plastinen kutistuma ja osa hydrataatiokutistumaa jo ennen lopullisen pintarappauksen levittämistä, jolloin laastikerros on kuivuessaan jo osittain halkeillut ja jännitykset eivät nouse laskelmien mukaiseksi. Lisäksi jäähtymiskutistuma sekä kuivumiskutistuma ovat hitaita prosesseja, joiden aikana jännitykset eivät nouse laskentamallin suuruisiksi vaan rakennekerrosten eri materiaalien viruminen ja jännitysrelaksaatio sekä laastikerroksen kuivumiskutistumasta aiheutuva verkkolaastikerroksen halkeilu pienentävät ja tasaavat rakenteen jännitysjakaumaa.

Tästä huolimatta Dispotherrin tuotteilla on sandwich-elementtirakenteisissa betonijulkisivuissa rakenteen asennuksessa huomioitava elementin saumarakenne, johon kohdistuvat jännitykset ovat muuta rakennetta suuremmat. Saumarakenteen ja EPS-levyn saumat eivät saa tulla kohdakkain, vaan saumat on limitettävä, jolloin elementin sauman rasitus kohdistuu koko rakenteelle, ei pelkästään laasti- ja pintakerrokselle. EPS-levyn vaikutus on materiaalin pienestä kimmoduulin arvosta johtuen vähäinen, mutta tällä tavalla mahdollisen halkeaman tapahtuessa suora saumarakennetta ei muodostu sisätiloista vioittuneen elementtisauman kautta eristekerroksen ja rappauskerrosten läpi ulkoilmaan. Termisten rasitusten suurimmat arvot kohdistuvat sauman



kohdalle, laastikerroksen ja EPS-levyn kutistuman suurimmat rasitukset sensijaan kohdistuvat tasaisesti koko rakenteeseen.

Ohutrappaukseen laastin kutistuma aiheuttaa suuren puristusjännityksen, mikä vahvistaa lämpörasituksen aiheuttamaa puristusjännitystä. Alsecon tuotteilla materiaalin lujuusarvot eivät ylitä, mutta Dispothermin tuotteilla lujuusarvojen puuttuessa lopullisia tuloksia ei voi varmuudella sanoa, kuitenkin laskentamallin kuormitukset ylittävät todennäköisesti rakenteen lujuuden.

Termisten rasitusten aiheuttamat jännitykset laskentamalli 1:ssä Alsecon materiaaleilla eivät ylitä materiaalien lujuuksia, laskentamalli 2:ssa Dispothermin tuotteilla vain laastikerroksen veto-  
lujuus ylittyy  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  pakkasella. Pienemmällä pakkasrasituksella,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  laastikerroksen veto-  
rasitus on  $6.02\text{ N/mm}^2$ , jonka laasti kestää. Vastaavasti  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa Alsecon tuotteelle  
vetorasitus on suurempi kuin laastin lujuus ( $1.7\text{ N/mm}^2 > 1.3\text{ N/mm}^2$ ).

Lujuutta lisää kuitenkin laastikerroksessa oleva lasikuituverkko, joka jakaa muodonmuutokset ja rasituksen laajemmalle alueelle. Laasti on lasikuituverkon kanssa elastinen, lähteessä /32/ suoritettujen venymäkokeiden perusteella neljän kokeen keskiarvo Dispothermin laastilasikuituverkko yhdistelmälle oli  $7.7\text{ }_{\text{‰}}$ , eli tuote on polymeerimodifioitujen tuotteiden tapaan hyvin elastinen. Kokeissa havaittiin halkeaminen syntyvän vasta vähän ennen murtoa.

Laskelmien perusteella kyseisillä tuotteilla rakennesysteemin käyttämisestä olosuhteissa, joissa lämpötila laskee toistuvasti lähelle  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ilman tarkempia kokeita ja koestuksia on syytä harkita. Käyttörajoituksen tarpeellisuutta lisää materiaalien kimmomoduulin, erityisesti keinohartsi-ohutrappauksen, ominaisuuksien muuttuminen lämpötilan mukana eli rakenne on hauraampi ja kovempi alhaisissa lämpötiloissa.

Verrattuna kirjallisuudesta saatuihin arvoihin rappauserrosten jännitykset eristelevyn kutistumasta ovat laskentamallin tulosten perusteella selvästi pienemmät ja laskennan mukaan eristelevyn kutistuman arvon ollessa alle  $0.2\text{ }_{\text{‰}}$ , kutistumisella ei ole vaikutusta rappauserrosten jännityksiin.

Tulosten luotettavuutta heikentääkin oletus materiaaliominaisuuksien vakioarvosta koko lämpötila-alueella. Materiaalin ominaisuuksien muuttumista lämpötilan mukana ei ole voitu huomioida tarkkojen arvojen puuttuessa. Suurin vaikutus ja epävarmuustekijä on oletus ohutrappauksen kimmomoduulin vakioarvosta koko lämpötila-alueella. Todellisuudessa kimmomoduulin arvo kasvaa alhaisissa lämpötiloissa, jolloin rakenne on hauras ja pienenee korkeissa lämpötiloissa, jolloin rakenne on pehmeä ja joustava.

Huolimatta lukuisista kokeellisista tutkimuksista tarkkaa yhteyttä kokeellisten ja laskennallisten tulosten välille ei voida antaa, esimerkiksi halkema-alttiudessa ja kosteusmuodonmuutoksissa, sillä kaikkia ilmiöihin vaikuttavia materiaalien ominaisuuksia ei tunneta tai ei voida luotettavasti mitata, kuten relaksaatiota ja virumaa. Koeseinillä ja laskennalla saadut tulokset kuvaavat rakenteen käyttäytymistä vain koeolosuhteissa ja kyseisellä koejärjestelyllä ja reunaehdoilla, jolloin tutkimustulokset eivät välttämättä aina tue käytännön kokemuksesta saatua tietoa.

#### **7.4 EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN SOPIVUUS BETONISANDWICH-ELEMENTTIRAKENTEISEEN JULKISIVUUN**

Julkisivulle yleensä ja erityisesti betonisandwich-elementtijulkisivulle (BSW) rakenteen soveltuvuudesta tulee esille seuraavat seikat;

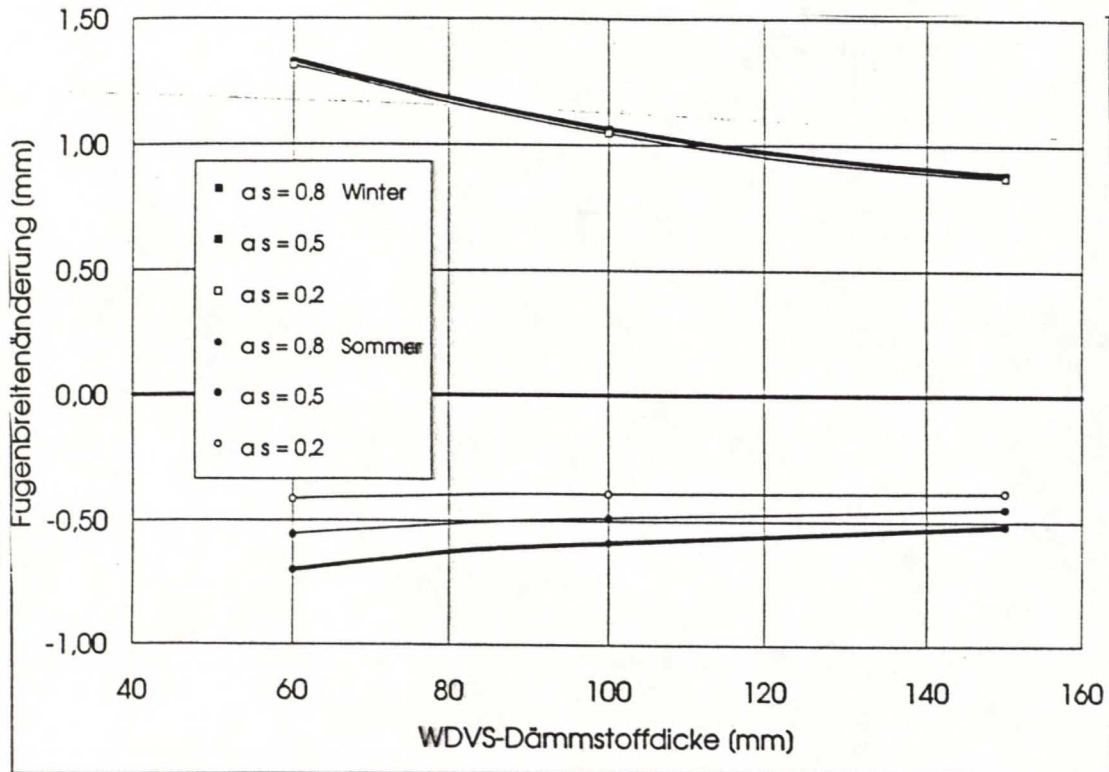


- onko alkuperäisen rakenteen **kantavuus** riittävä julkisivuun tulevalle lisäkuormalle
- mikä on rakenteen saumojen **liike** eristeen asennuksen jälkeen
- millaista saumaratkaisua **ulkokuoressa** voidaan käyttää EPS-järjestelmän ja BSW:n yhteenliittymässä

EPS-järjestelmän omapaino on niin **pieni** ( $< 10 \dots 15 \text{ kg/m}^2$ ), ettei se juurikaan vaikuta ulkokuoren jännityksiin, lisäksi ulkokuoren **ollessa** pahoin rapautunut kuori voidaan pultata kantavaan rakenteeseen. Lähteessä /52/ suoritettujen FEM-laskelmien pohjalta lisärakenteen painon aiheuttama lisäjännitys teräsiin on **pienempi** kuin pultatun ja lisäeristetyin rakenteen teräsjännityksen aleneminen lämpötilan vaihteluista **aiheutuvien** pakkovoimien pienentymisen johdosta.

BSW-elementtiin aiheuttavat **muodonmuutoksia**:

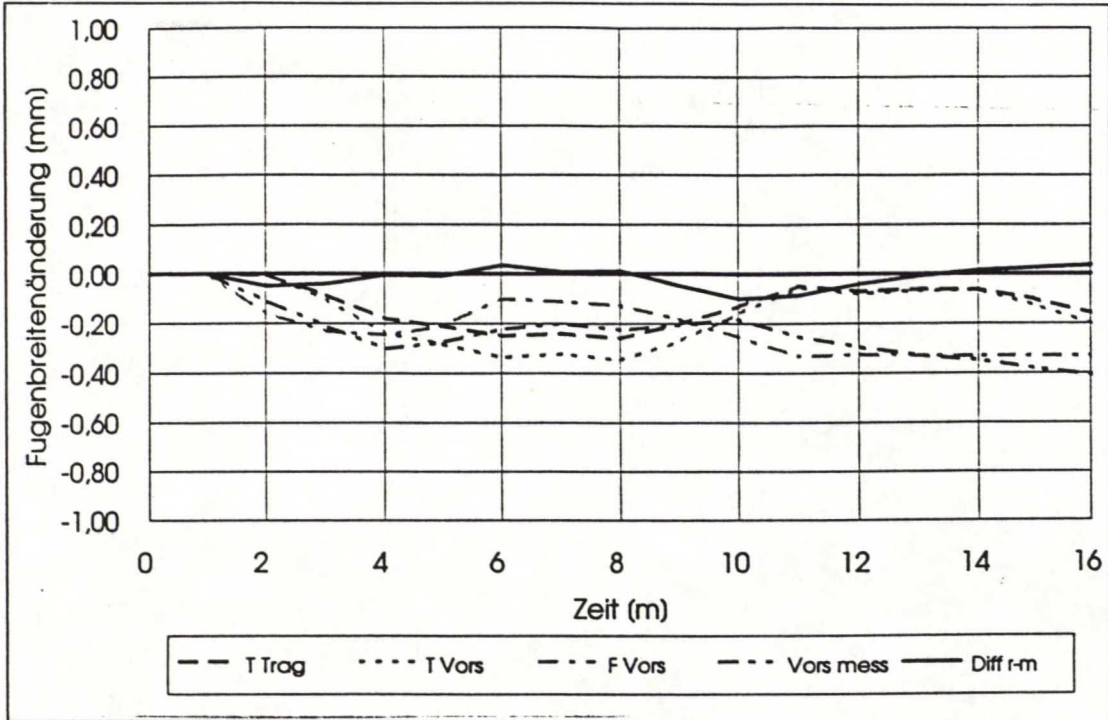
- päivittäiset ja vuosittaiset **lämmönvaihtelut**
- kosteusmuodonmuutokset; **vuositasolla** kosteuspitoisuuden muutos ja rakenteen pitkäaikainen kuivuminen



Kuva 7.1 Sandwich-elementin sauman leveyden vaihtelu [mm] termisten rasitusten seurauksena lisäeristetyssä rakenteessa. Elementin koko 6·3 m, tyyppi WBS 70, rappauksen absorptiokerroin on  $\alpha_s$  /52/. Talviaikaisiin pituudenvaihteluihin ei pinnan absorptiokerroin vaikuta, kesällä ero taas on selvä.

Termisten rasitusten lisäksi **muodonmuutoksia** aiheuttaa erityisesti elementin ulkokuoren kuivuminen. Lähteen /52/ mittauksen mukaan betonin ulkokuoren tasapainokosteus laski 6 vuoden mittausjakson aikana alle 40 %:n, laskennallisen arvon ollessa 50 %:a. Jos oletetaan betonin olevan mittauksen alussa sateen jäljiltä **kosteaa**, suhteellinen kosteuspitoisuus  $\rho_{alku}$  on 98 % ja betonin kuivumisen jälkeen  $\rho_{loppu}$  on 50 %, jolloin kuivuminen aiheuttaa betoniin kutistumista ja be-

tonin pituuden muodonmuutoskerroin muuttuu,  $\varepsilon_{\phi,98\% \rightarrow 50\%}$  on 0.034 % (vrt. taulukko 3.3 betonin kutistumasta). Kutistuman aiheuttama muodonmuutos kahden 6 m leveän elementin välillä on  $\Delta f = 2.2$  mm. Elementtien saumojen muodonmuutokset tapahtuvat kosteus- ja lämpötilavaihteluiden seurauksena, ilmiöiden vaikuttaessa yhdessä, jolloin betoni vuosittainen kosteuspiitoisuuden muutos vaimentaa lämpötilan muutosten aiheuttamaa saumarakenteiden liikettä, vertaa seuraava kuva



Kuva 7.2 BSW-päätylelementin ( koko 3·3 m ) ulko- ja sisäkuoren sauman muodonmuutokset kosteuden ja lämpötilan vaihteluista, lisälämmöneristetty rakenne. Yhtenäinen viiva kuvaa elementtien saumojen muodonmuutosten eroa, T trag on sisäkuoren mitattu arvo, T Vors laskettu, F Vors on ulkokuoren laskettu ja Vors mess mitattu arvo. Mittausaika 6.7.1992-8.11.1993, paikka Berlin-Hesseldorf, Saksa /52/.

16 kuukauden mittauksen perusteella kuivuminen ei juurikaan vaikuta elementtisauman muodonmuutoksiin. Rakenteen kuivuminen on useita vuosia kestävä prosessi, jolloin mahdolliset kutistumasta aiheutuvat muodonmuutokset tapahtuvat hitaasti, vähitellen, jolloin syntyviä pakkojännitteitä purkaa rappausmateriaalien ja laastien sekä lämmöneristeen relaksaatio. Lähde /52/ kuitenkin suosittelee riittävän varmuuden saavuttamiseksi rakenteen käyttökelpoisuudelle seuraavia rajoituksia ja suosituksia kattavien tutkimustuloksien puuttuessa;

- betonisandwich-elementin pituus alle 3 m
- eristysjärjestelmällä pieni liukumoduuli
- käytetään suuria eristyspaksuuksia

Käytännön kokemukset ja mittaustulokset eivät kuitenkaan tue rajoituksia elementtirakenteiden julkisivujen lisäeristämisestä korjausrakentamisessa EPS-ohutrappausjärjestelmällä elementtien kuivumisesta aiheutuvan kutistuman johdosta. Korjattavat julkisivurakenteet ovat lisäksi yleensä niin iäkkäitä, että betonin kutistuminen on kokonaisuudessaan ehtinyt jo tapahtua, vertaa taulukko 3.2.



## 8. EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS JA ASENNUSTEKNIikka

### 8.1 VALMISTELEVAT TYÖT JA ALUSTAN ESIKÄSITTELY

Tässä kappaleessa kuvataan järjestelmän työmenetelmiä. Lisää menetelmästä, mm. laatuasioista on laaturaporteissa liitteissä.

Rakenteen kuntokartoituksessa tulee pinnan vinous ja pullistuminen tai elementtien hammastaminen mitata menetelmän soveltuvuuden varmistamiseksi. Pinnan tasomaisuus voidaan tutkia linjalangan, linjalangan ja tasolaserin avulla, takymetrikartoituksella tai stereokuvauksella. Yksinkertaisin menetelmä, linjalanka, antaa jo tiedon menetelmän soveltuvuudesta kyseiselle julkisivulle.

Mittapoikkeamien ollessa useita kymmeniä millimetrejä tulee pinnan paikalliseen oikaisuun varautua, joko laastitöillä tai pullistumien piikkauksella tai kiinnittämällä eristelevy listoilla julkisivuun. Lämmöneristettä voi tarvittaessa myös leikata ja muotoilla ja asentaa useita ohuita EPS-levyjä päällekkäin.

Ennen työn aloittamista alustan tulee olla puhdas ja kuiva sekä imukykyinen. Vanha irrallinen pinnoite poistetaan ja pinnan vauriot, joita ei voida eristelevyjen kiinnityslaastilla tasata, paikataan. Voimakkaasti imevällä pohjarakenteella, esimerkiksi tiili, alustan esikäsitelyssä käytetään pohjustetta.

Julkisivuun liittyvät rakenteet, kuten syöksytorvet, palotikkaat, vanhat ikkunoiden vesipellit, mainoskilvet sekä LVI- ja sähkölaitteet, -johdot ja kanavat poistetaan ennen työn aloittamista. Julkisivun osat, kuten ikkunat ja ovet suojataan käsittelyn ajaksi.

Työtasoina voidaan käyttää julkisivukorjauksiin soveltuvia telineitä ja laitteita, kuten kiinteätä telineitä, hissityölavaa, saksilavaa tai kelkkaa. Telineet voidaan huputtaa, jolloin suora aurin-  
gonpaiste tai sade ei aiheuta työhön keskeytyksiä. Rakennuskohteessa varmistetaan puhtaan veden ja 32 ampeerin (A) sähkövirran saanti. Lämpötilan tulee olla työn suorituksen aikana vähintään +5 °C, ellei niin työhön varaudutaan suojapeittein ja lämmittimin.

### 8.2 SOKKELISTAN ASENNUS

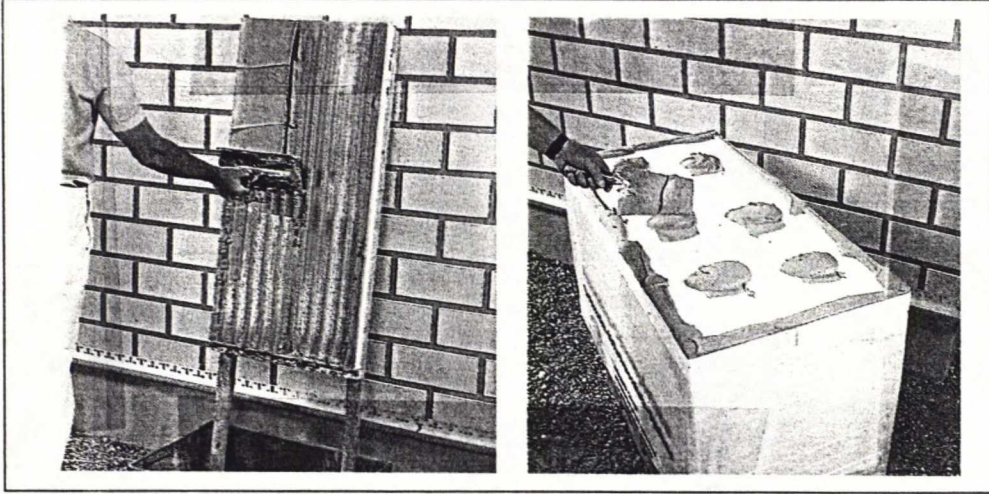
Sokkelilista asennetaan vaakasuoraan vesivaa'an avulla väh. 400 mm maanpinnan yläpuolelle. Lista kiinnitetään alustaan lyöntikiinnikkein tai ruuvein. Listan kiinnityksen tulee ulottua vähintään 50 mm alkuperäiseen rakenteeseen. Pohjarakenteen ollessa esim. reikätiiltä, kiinnitysruuvi asennetaan ilman alkuiskua, jolloin pohjarakenne ei vaurioidu. Listan materiaali on yleensä alumiinia, jolloin lämpötilan aiheuttamat pituuden muutokset ovat suurehkoja, kaksinkertaisia verrattuna betoniin tai teräkseen ( $\alpha_{\text{betoni}} = 12 \cdot 10^{-6}$  (vaihteluväli 5...14·10<sup>-6</sup>),  $\alpha_{\text{teräs}} = 11.5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\alpha_{\text{alumiini}} = 24 \cdot 10^{-6}$  [1/K]).

Lämpötilanvaihteluista aiheutuvia pituuden muodonmuutoksia ja vaurioita estetään käyttämällä korkeintaan 2...2.5 m pitkiä listoja, jotka kiinnitetään päistään ja muuten noin 3 kpl/jm. Listojen välille jätetään liikuntasaumaksi 3...4 mm rako muovisten välikkeiden avulla.



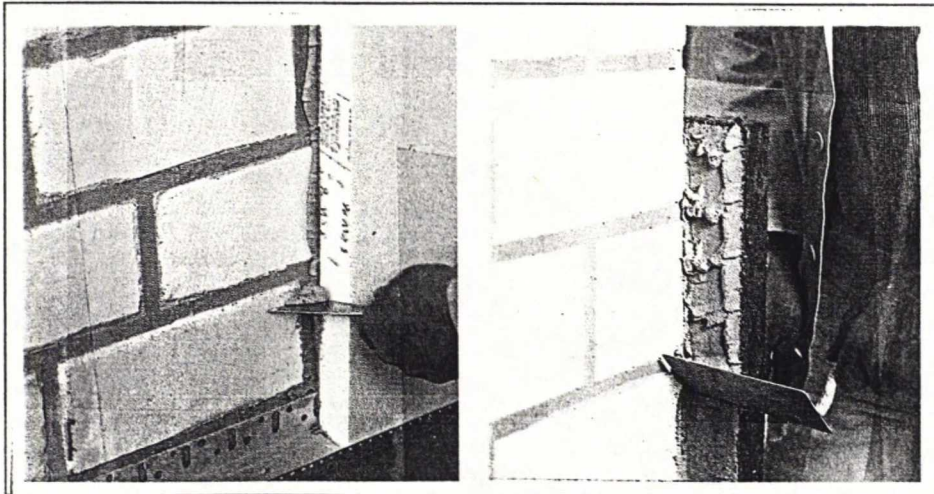
### 8.3 ERISTELEVYN ASENNUS

Kiinnityslaastia voidaan levittää joko kauttaaltaan levyn taustaan hammaslastalla tai yhtenäisenä kerroksena reunoihin ja pisteinä levyn keskiosiin. Ohuiden levyjen (paksuus alle 50 mm) kiinnityksessä liimalaastia levitetään kauttaaltaan eristeen takapintaan, jolloin levy on tukevasti taustaa vasten.



Kuva 8.1 Laastinlevitystavat. Huomaa vasemmanpuoleisen kuvan keräilyastia ylimääräistä laastia varten.

Pistemäinen kiinnitys sopii epätasaisille alustoille, laastin paksuuden vaihtelun avulla (3...30 mm) levy voidaan asettaa suoraan ja liittää muihin levyihin ilman hammastusta. Kiinnityslaastia ei saa jäädä levyn saumoihin ja reunoihin, sillä levyjen välille muodostuva rako mahdollistaa pintarakennetta vaurioittavan kosteuden ja vesihöyryn esteettömän kulun. Lisäksi pintarakenteen jännitykset ja muodonmuutokset kasvavat laastin vedenimukyvyyn ja pituuden lämpötilakertoimen erotessa EPS-levyn arvoista.



Kuva 8.2 Kiinnityslaasti on poistettava levyn saumoista.

Kiinnityslaasti sekoitetaan koneellisesti ja materiaalin annetaan tasaantua noin kymmenen minuuttia ennen käyttöä. Massa tulee käyttää noin kahden tunnin kuluessa. Kiinnityslaasti levitetään eristelevyjen takapinnan reunoihin sivun suuntaisiksi noin 10 cm leveiksi yhtenäisiksi nau-



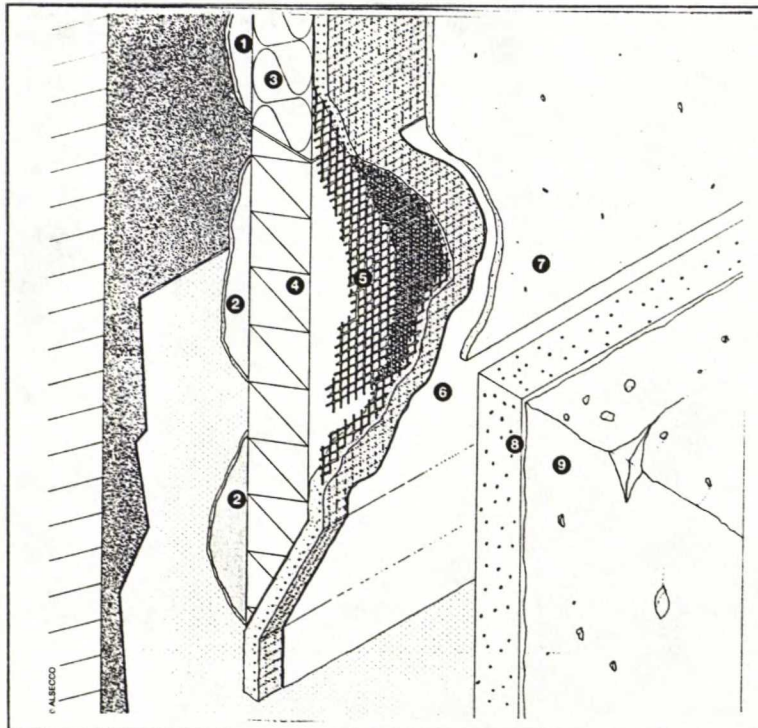
hoiksi ja eristeen keskelle pisteittäin, 3 kiinnityspistettä/levy. Laasti muodostaa eristelevyn keskelle yhtenäisen nauhan, jonka ei tarvitse olla aivan levyn reunassa kiinni, jolloin laasti ei leviä asennusvaiheessa levyjen saumoihin. Painettaessa eristelevy seinäpintaa vasten, laasti leviää ja materiaalivalmistajien vaatimus 60-70 %:a levyn pinta-alan peittymisestä laastilla riittävän tartuntalujuuden saavuttamiseksi täyttyy.

Kiinnityslaastia levitetään eristeen pinnalle, joka on ollut pakkauksessa alapuolena, jolloin levyn mahdollinen käyristymä ei aiheuta reunojen hammastamista tai lisäjännityksiä rakenteeseen. Levyt painetaan lastalla tai käsin seinään ja pinnan tasaisuus varmistetaan oikolaudalla mittaamalla. Levyjen liitoskohtiin ei saa jäädä avointa saumaa tai rakoa, joka mahdollistaisi kosteuden kulun. Avoimia saumoja ei muodostu ja pinnasta tulee helposti tasainen ja yhtenäinen käytettäessä puoli- tai täyspontillisia eristelevyjä. Isoran EPS-levyt ovat täyspontillisia. Eristeen läpiviennit ja kolot tiivistetään ja täytetään jälkikäteen polyuretaanivaahdolla.

Eristelevy asennetaan tiiviisti pintaa vasten limittämällä ponttisaumat, jolloin yhtenäistä pysty-saumaa ei muodostu. Mikäli julkisivun pinnassa on eri materiaaleja, kuten betoninen pilari ja tiiliseinä tms., tulee eristelevyn sauman etäisyys olla vähintään 100 mm:ä materiaalien liitoskohdasta halkeaman estämiseksi eristeen saumakohdassa, erilaisten lämpö- ja kosteusmuodonmuutosten vuoksi. Levyt limitetään lisäksi aukkojen ja julkisivujen ulokkeiden kulmakohdissa (parvekkeet) vaaka ja pystysuunnassa ja kulmissa ns. sormiliitoksen tapaan, katso kuva 8.4.

Julkisivun ulkoneissa osissa, erkkereissä tms. pinta saadaan yhtenäiseksi ja samaan tasoon käyttämällä paksuudeltaan erilaisia eristelevyjä päällekkäin, jolloin levyt tulee limittää keskenään. Eristelevyn sauman tulee olla vähintään 100 mm:n etäisyydellä kohdassa, jossa julkisivun paksuus muuttuu ja pinta tehdään yhtenäiseksi eristelevyjen avulla. Asennusvaiheessa eristelevyjä voidaan leikata ja sahata. EPS-levyjä tulee varastoida varjoisassa paikassa, poissa auringonpaisteesta.

Eristelevyn asennus aloitetaan sokkelilistan päältä tai maanpinnasta lähtien, jolloin erillistä ulkonevaa sokkelilinjaa ei muodostu.





Kuva 8.3 Sokkeliliittymä. 1 ja 2 liimalaasti 3. EPS-eristelevy 4. Suulakepuristettu EPS-eristelevy 5. Verkkolaastikerros kaksinkertaisella verkolla suulakepuristetun EPS:n ja muottipuristetun EPS:n välillä 6. Vedeneristyssively 7. Pintarappaus 8. Routalevy 9. Maatäyttö. Sokkelin eristeenä käytetään suulakepuristettua solupolystyreeniä XPS, jonka lyhytaikainen puristuslujuus on kaksinkertainen EPS R-laatuun verrattuna ( $250 \text{ kN/m}^2$  vs.  $125 \text{ kN/m}^2$ ). Kahden erilaisen eristelevyn saumakohtaan asennetaan erillinen vahvisteverkkokaista, leveydeltään noin 200 mm.

Iskulujuuden parantamiseksi sokkelissa ja maanpäällisessä kerroksessa voidaan käyttää kaksinkertaista lasikuituverkkoa tai panssariverkkoa ja tavallista lasikuituverkkoa yhdessä. Panssariverkko asennetaan ennen lasikuituverkkoa. Panssariverkkoa ei limitetä vaaka- eikä pystysuunnassa, lasikuituverkko limitetään tavalliseen tapaan noin 100 mm:ä. Sokkelissa vahvisteverkko asennetaan noin 200 mm alimmaisen eristelevyn yli. Ylimääräinen verkko leikataan pois laastikerroksen levittämisen jälkeen.

Vahvisteverkon ja verkotuslaastin levittämisen jälkeen pinta käsitellään kosteudensuoja-aineella noin 500 mm:n korkeuteen asti, esim. bitumiemulsiolla telaamalla, sivelemällä tai ruiskuttamalla. Pintaa voidaan suojata mekaanisilta rasituksilta maanpinnan ja seinän liittymään noin 20...30 cm:n etäisyydelle asetettavilla betonisilla reunakivillä. Välitila täytetään materiaalilla, joka ei ime vettä, esim. kivillä tai kivimurskeella.

## 8.4 ERISTELEVYN MEKAANINEN KIINNITYS

Liimalastin tulee kuivua materiaalista, ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta ja pohjan imukyvyistä riippuen 1...3 vuorokautta, ennen kiinnitystulpkien asentamista. Mikäli pohjarakenne ei ole imukykyinen kiinnikkeet voidaan asentaa myös heti levyn asennuksen yhteydessä. Näin varmistetaan levyjen pysyvyys liimalaastin hitaan kuivumisen aikana.

Eristekerroksen läpi porataan reikä alustaan asti, johon kiinnike asennetaan ja ruuvataan ja lopuksi lyödään vasaralla eristeen tasoon. Kiinnikkeinä voidaan käyttää esim. naulatulppia tai ruuvia muovitulpalla. Kiinnikkeiden tulee ulottua vähintään 30 mm alusrakenteeseen. Kiinnikkeiden pään tulee jäädä samaan tasoon eristeen kanssa, jotta pinnasta tulisi tasainen ja kiinnikkeet eivät näkyisi valmiista pinnasta. Kiinnikkeitä asennetaan eristelevyn nurkkiin ja keskelle kuvan 8.4 mukaisesti. Määrä 5...8 kpl/m<sup>2</sup>. Ennen verkkolaastin levittämistä eristelevyjen saumat ja kiinnikkeiden kohdat tasataan.

Vuosaaren seurantakohteessa kiinnitys kantavaan betonirakenteeseen tapahtui erillisillä muovisilla naulatulpilla, pituudeltaan 350 mm, halkaisijaltaan 12 mm, määrä vähintään 1 kpl/m<sup>2</sup>. Kiinnikkeiden alle tuli kooltaan 300-400 mm<sup>2</sup> lasikuituverkko, joka limitettiin varsinaisen verkon kanssa, jolloin koko järjestelmä oli kiinnitetty kantavaan kerrokseen saakka.

## 8.5 KULMASUOJIEEN ASENNUS

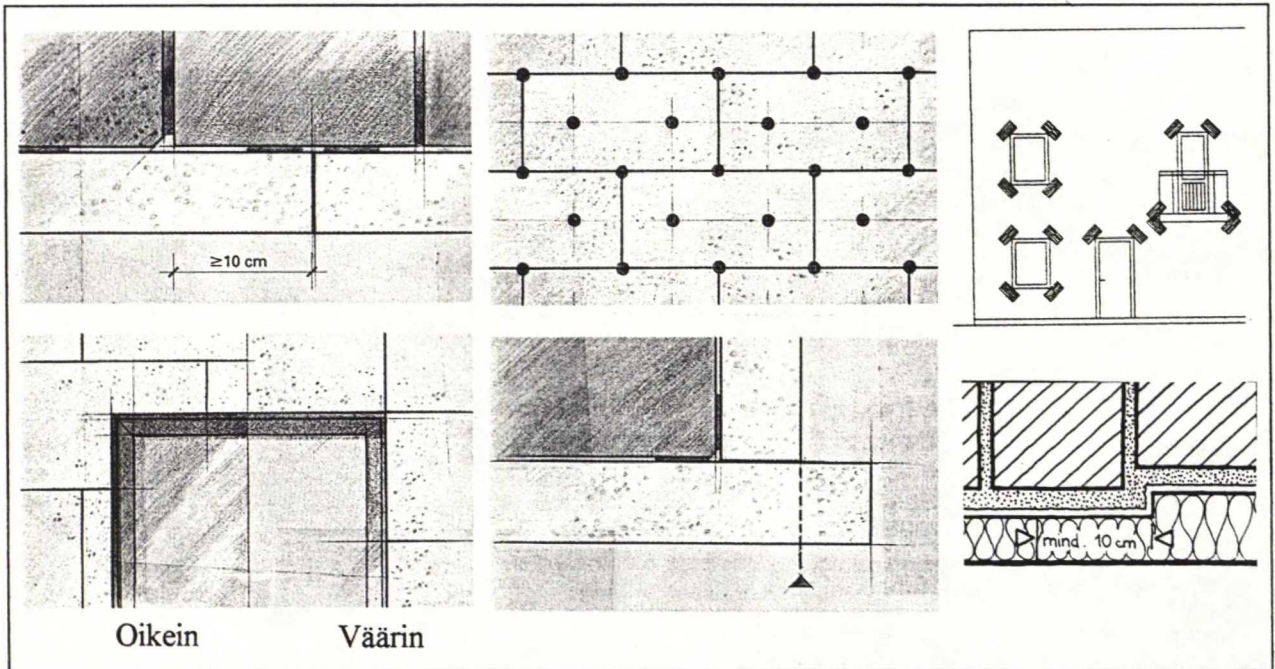
Kulmasuojaverkko tai kulmasuojalista asennetaan kaikkiin ulkokulmiin ja aukkojen, ovien ja ikkunoiden pieliin lämpöliikkeiden aiheuttamien halkeilun estämiseksi ja kulmien vahvistamiseksi mekaanisia rasituksia vastaan. Verkot voidaan asentaa ennen tai verkkolaastin levittämisen yhteydessä, jolloin kulmaverkot painetaan laastiin siten, että ylempi verkko tulee alemman päälle noin 100 mm:ä. Eristelevyn kulma ulkonurkissa voidaan tasata lämpöveitsellä leikkaamalla tai sahaamalla levyn pinta suoraksi. Lasikuituverkkojen asentaminen ennen verkkolaastikerrosta on hiukan hitaampaa kuin erillisten verkkojen asentaminen laastin ruiskutuksen yhteydessä, mutta työ vastaavasti nopeutuu laastikerroksen ruiskutuksen aikana. Laastikerroksen levittämisen yhteydessä kulma- ja diagonaaliverkkojen poisjäämisen riski ja asennus liian pintaan huolimatto-



man työn johdosta on suurempi. Työn laadun varmistamiseksi erilliset lasikuituverkot tuleekin asentaa ennen varsinaisen yhtenäisen lasikuituverkon ja laastikerroksen asentamista.

## 8.6 VERKKOLAASTIN LEVITYS JA VAHVISTEVERKON ASENNUS

Ikkunan nurkkakohtiin muodostuu rakenteen muodonmuutoksista jännityksiä, jotka voivat aiheuttaa halkeamia. Rakennetta vahvistetaan aukkojen nurkkiin 45 asteen kulmaan asetettavilla lasikuituverkoilla, koko 200-400 mm<sup>2</sup>.



Kuva 8.4 Eristelevyjen kiinnikkeiden sijoitus ja vahvisteverkot ikkunan, oven ja parvekkeen kulmissa. Huomaa eristeen limitys, erityisesti ikkuna-aukon kohdalla, jossa levyn sauma ei saa olla ikkunan pysty- eikä vaakakarmin kohdalla.

Rakenteen kulmissa käytettävät metalliset kulmalistat peitetään vahvisteverkoilla. Kulmavahvisteita on metallisia listoja tai lasikuituverkkoja, joihin on tehty kantattu 90 asteen kulma muovisella vahvikkeella. Erilliset kulmaverkot limitetään vahvisteverkon kanssa noin 100 mm. Verkon asennus tapahtuu kuten kulmasuojaverkon asennus.

Verkon asennuksessa laastikerrokseen on erilaisia tapoja. Verkko voidaan asettaa eristelevyjen päälle ja ruiskuttaa verkkolaasti. Ruiskutuksen jälkeen verkko painetaan teräslastalla laastikerroksen sisään jolloin laastin ilmakuplat poistuvat. Lopuksi pinta tasataan lastalla. Verkon tulisi olla laastin ulommaisessa kolmanneksessa, mahdollisimman lähelle ulkopintaa, pinnan jännitysjauman vuoksi. Laastikerroksen kokonaispaksuus on noin 4...6 mm. Tällä tavalla verkko jää helposti laastikerroksen alle, mutta vahvisteverkon tulee olla pingotettuna eristelevyyn pintaan ennen ruiskutusta.

Vaihtoehtoinen tapa verkon asentamisessa on ruiskuttaa tai levittää teräslastalla verkkolaastia ja kammata laasti hammaslastalla auki ja painaa lasikuituverkko teräslastalla märkään laastiin ja tasoittaa pinta. Seurantakohteissa käytetyillä Dispothermin tuotteilla liimalasti levittiin ruiskulla pinnalle ja verkko painettiin laastiin, jonka jälkeen pinnan annettiin sitoutua 3...4 tuntia, yleensä seuraavaan päivään asti, jonka jälkeen lopullinen verkon peittävä liimalaastikerros voitiin levit-



tää. Laastikerroksen kokonaispaksuus oli 6...9 mm:ä. Laastikerroksen levittämisessä pinta tasataan pitkillä lastoilla.

Vahvisteverkot limitetään keskenään vähintään 100 mm:ä, jolloin varmistetaan verkon toimiminen yhtenäisenä rakenteena koko seinäpinnalla. Poikkeuksena on panssariverkkoa, jota ei normaalin vahvisteverkon tapaan limitetä. Laastin kuivumisajan (1...3 vuorokautta) jälkeen suoritetaan rakenteen pohjamaalaus tai lopullinen ohutrappaus.

Laastikerroksen levityksessä suurilla julkisivupinnoilla, kuten Vuosaaren kohteessa, ei resurssien puutteessa laasti- ja lopullisen rappauspinnan levitystä pystynyt tekemään yhdellä kertaa koko julkisivulle, jolloin julkisivupintaan jouduttiin jättämään pystysuuntainen työsauma parvekepuoliskojen väliin. Mahdollinen julkisivupinnan koosta aiheutuva työsauma tulee jättää mieluummin pysty-, kuin vaakasuuntaisena ja koittaa piilottaa se esimerkiksi parvekkeen sisään.

## 8.7 OHUTRAPPAUS

Verkkolaastin kuivuttua 1...3 vuorokautta voidaan suorittaa varsinainen pinnan ohutrappaus. Työ voi tapahtua ruiskuttamalla, telaamalla tai lastaamalla. Ruiskutuksen tulee tapahtua ylhäältä alas. Pinnan kokonaispaksuus on noin 1.5...3 mm, raekoosta riippuen 5 mm:iin asti. Ruiskupinta on käsin levitettyä pintaa karkeampi, mutta pintaa saadaan hienommaksi teräs- tai muovilastalla hiertämällä. Ruiskutussuutinta pidetään ruiskutuksen ajan kohtisuoraan pintaa nähden, jolloin rappausmateriaalin vahvuus on tasainen. Mahdollisen hiertämisen tulee tapahtua heti pinnan ruiskuttamisen jälkeen, ennen pinnan sitoutumista. Pinnasta saadaan tasalaatuinen, jos ruiskutuksen suorittaa sama henkilö kauttaaltaan. Sama pätee pinnan hierrossa.

Vuosaaren seurantakohteessa pinta hierrettiin käsin rappauksen ruiskutuksen jälkeen. Pinnan teon tahdistava työvaihe oli pinnan hierto, joka hidasti työtä huomattavasti. Rappaus kuivui nopeasti, materiaalia ei voinut levittää ehjänä 25 °C lämpötilassa aurinkoisella säällä noin 15 minuutin jälkeen. Tämän vuoksi julkisivun rappaus oli jaettava suurimmissa päädyissä kaistoihin, jotka tehtiin yhtenäisesti ja kaistojen väliin jäi työsauma. Pinnan hierron onnistuminen vaatii ammattitaitoiset ja huolelliset työntekijät (esim. ruiskutuskaluston letkut eivät saa osua jo hierrettyyn pintaan) ja sopivat sääolosuhteet, pinnan pitää olla suojattu auringonpaisteelta ja sateelta eli teli- neet on käytännössä huputettava tai työ on ajoitettava sääolosuhteiden mukaan.

## 8.8 PINTAMAALAUUS

Rappauksen kuivumisen jälkeen (2...3 vuorokautta) julkisivu voidaan maalata telaten, ruiskuttamalla tai siveltimellä. Kuivumista hidastaa viileä ilma ja korkea ilman suhteellinen kosteus, sillä orgaaniset rappaukset kovettuvat veden haihtuessa materiaalista. Maalaus on ennaltaehkäisevä toimenpide likaantumiselle alttiina oleville julkisivuille. Maalaus suoritetaan yhteen tai kahteen kertaan riippuen pinnan karkeudesta silikaattiemulsio- tai silikonihartsimaaleilla. Maalin tulee olla ohutrappausjärjestelmän valmistajan suosittelemaa maalin soveltuvuuden varmistamiseksi. Maalauksen kuivuttua pinta voidaan käsitellä ensimmäisessä kerroksessa anti-graffit-käsittelyllä tms. pinnan puhtaanapidon helpottamiseksi.

Seurantakohteissa käytettiin Primasil silikonihartsimaalia. Dispotheimin tuotteisiin soveltuva Primasil julkisivumaali levitettiin telaamalla. Maali on järjestelmän tuotteista kaikkein herkin sääolosuhteille, sillä maalissa havaittiin runsasta kuivumiskutistumista + 26 °C lämpötilassa aurinkoisella säällä, vaikkei julkisivu ollut työn aikana alttiina suoralle auringonpaisteelle. Kuivumiskutistuman tunnistaa halkeamakuvioiden muodosta, halkeamaviivat muodostavat yleensä kolmen halkeamaviivan risteyskohdan ja Y-muodon.



Sopivin lämpötila maalaukseen on 10...15 (max. 22) °C ja pilvipouta. Maalaukseen kuivumiskutistuma-alttiuteen vaikuttaa lämpötilan lisäksi maalin määrä julkisivussa. Maalia voidaan ohentaa vedellä materiaalivalmistajan mukaan 1.5...2 l/25 kg maalia, määrä on riippuvainen värisävystä ja lämpötilaolosuhteista. Mitä vaaleampi värisävy ja mitä lämpimämpi ilma, niin sitä enemmän maalia voidaan ohentaa, veden määrässä 2 litraa ei saa kuitenkaan ylittää. Sopiva määrä vettä Ulappasaarentie 4:n vaalean harmaaseen värisävyyteen oli noin 2 l/25 kg.

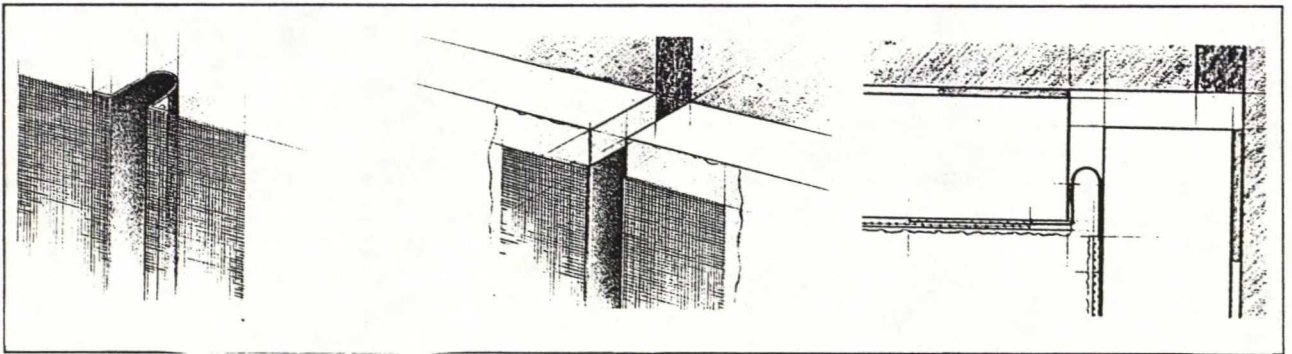
Levitettäessä maalia telaamalla vaikuttaa rappauspinnan karkeus telalta vaadittuihin ominaisuuksiin. Karkeilla rappauksilla tela voi olla pitkäkarvainen, jolloin maali peittää rosoisen pinnan, jolloin maalimenekki on vastaavasti suurempi.

## 8.9 JULKISIVUUN LIITTYVIEN RAKENTEIDEN KIINNITYS

Jälkeenpäin asennettavien syöksytorvien, valaisimien yms. kiinnikkeiden tulee ulottua lämmöneristeen läpi alkuperäiseen rakenteeseen asti. Sopivia kiinnikkeitä ovat erilaiset muoviset lyöntitulpat. Kiinnikkeiden liittymäkohta tiivistetään esimerkiksi silikonilla.

## 8.10 LIIKUNTASAUMAT

Rakenne ei vaadi erityisiä liikuntasaumoja, mutta ne on tehtävä mikäli alusrakenteessa on sellainen. Liikuntasauma voidaan toteuttaa perinteisellä saumanauha ja tiivistemassa-menetelmällä tai käyttämällä materiaalivalmistajien erillisiä profiileja, joissa on saumaan asennettavaan joustavaan suojapeitteeseen (kouruun) liitetty vahvisteverkko. Profiili asennetaan liikuntasaumaan alhaalta ylöspäin jolloin pystysuuntainen vähintään 20 mm:n limitys voidaan suorittaa. Sauma voidaan suojata pinnan käsittelyn ajan eristekaistaleella, joka poistetaan pinnan valmistuttua.



Kuva 8.5 Valmis liikuntasauma-ratkaisu

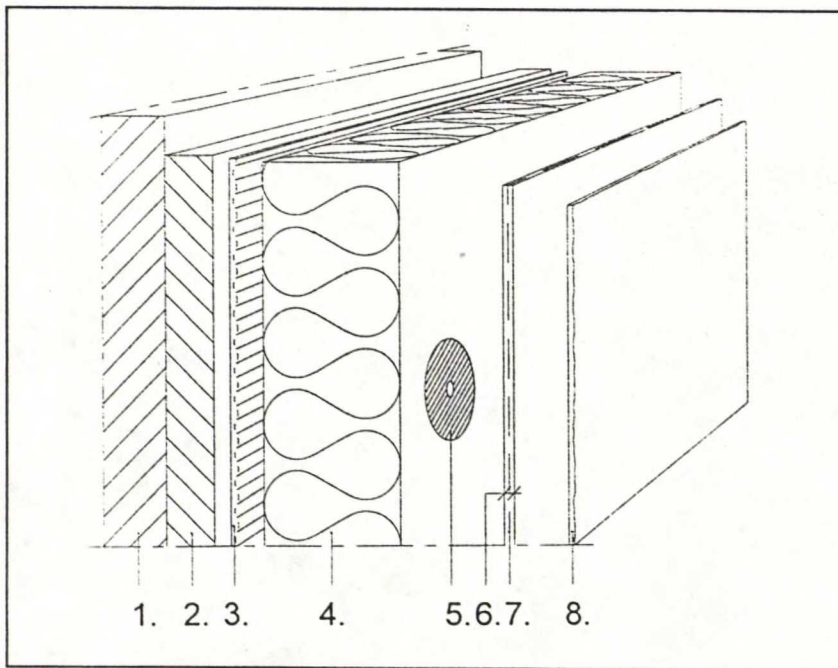
## 9. TUOTANNONSUUNNITTELU

Tuotannonsuunnittelussa laaditaan toimintaohjeet, joiden avulla rakennushanke voidaan toteuttaa edullisesti varatussa ajassa suunnitelmien, määräysten ja työn laadullisten tavoitteiden mukaisesti. Tuotannonsuunnittelun toimintaohjeita valvotaan ja ylläpidetään tuotannonohjauksen avulla. Tuotannonsuunnitteluun kuuluu menetelmäsuunnittelu, aikataulusuunnittelu, työvoimasuunnittelu, laadunvarmistus, työmaa-alueen käytön suunnittelu, materiaalihallinta (hankinta, varastointi, siirrot, jäte), kalusto- ja rahoitussuunnittelu.

Julkisivun lisäeristäminen EPS-ohutrappausjärjestelmällä tehdään seurantakohteissa tuoteosakauppana, jolloin kohteiden tähän työhön sisältyvä tuotannonsuunnittelu on tehty seurannan ja ohjauksen mahdollistamiseksi.

### 9.1 TYÖJÄRJESTYS

EPS-ohutrappausjärjestelmän tehtävien väliset riippuvuudet ovat luonnollisia eli ehdottomia riippuvuuksia, jolloin työvaiheet voidaan suorittaa vain yhdessä järjestyksessä sekä teknisiä riippuvuuksia, jolloin osa työtehtävistä voi seurata toisiaan tietyllä limityksellä. Työmenetelmä on myös olosuhderiippuvainen ympäröivien olosuhteiden, ilman lämpötilan määrittäessä suoritusajankohdan. Tehtävien välisiä riippuvuuksia voidaan tutkia mm. räjäytyskuvan avulla.



Kuva 9.1 EPS-ohutrappausjärjestelmän osat. 1. ja 2. Olemassaoleva julkisivurakenne 3. Liimalaasti 4. EPS-lämmöneriste 5. Kiinnike 6. Verkkolaasti 7. Lasikuituverkko 8. Pohjustusaine (materiaalivalmistajasta riippuen). 9. Ohutrappaus /7/.

### 9.2 AIKATAULU

Ulappasaarentie 4:n seurantakohteesta on tuotannon vinoviiva-aikataulu eli paikka-aika kaavio, katso liite 7. Paikka-aikakaavion vaaka-akselilta voidaan todeta tehtävien suoritusjärjestys ja toteutuksen aikavälit ja pystyakselilta tehtävien suorituspaikka. Kuvaajan kulmakerroin eli kaltevuus kuvaa tuotantonopeutta. Kaavion avulla voidaan toteuttaa tuotannon ajallista valvontaa, seuraamalla tuotantonopeuden ja aloitusajankohtien sekä suoritusjärjestyksen poikkeamia ra-



kennuksen eri osissa. Paikka-aikakaaviolla voidaan ennakoida myös tulevia häiriötilanteita, kuten työkohteiden ja kaluston loppumista. Paikka-aikakaavion avulla voidaan todeta määrällisten ja ajallisten erojen lisäksi missä työkohteessa tuotanto on tehty. Kaavion pystyakselin jaottelu kuvaa kohteen julkisivun osien laajuutta. Vaaka-akselina on aika työvuoroina. Aikataulussa on esitetty vain kriittiset työvaiheet. Työvaiheiden välillä ei ole aloitusvälejä, sillä työvaiheet ovat toisistaan riippuvaisia.

Aikataulutettavat tehtävät ovat tahdistuksen ja rytmituksen jälkeen työvaiheita, työlajeja tai suurtehtäviä. Työvaiheet ja työlajit ovat töitä, jotka edellyttävät yhdenmukaista osaamista. Suurtehtävä on saman työryhmän ajallisesti lähellä toisiaan toteutettavien työvaiheiden muodostama kokonaisuus, jolloin työvaiheita kutsutaan alatehtäviksi. Alatehtävät ovat itsenäisiä työkokonaisuuksia ja voivat sisältää eri työlajien töitä. Suurtehtävässä on yleensä 2...5 alatehtävää, joiden keskinäinen riippuvuus ei aiheuta suurtehtävän leviämistä kaikkiin työkohteisiin.

Julkisivun korjaus tutkittavalla menetelmällä on yksi suurtehtävä, jonka alatehtäviksi on valittu eristelevyn asennus ja kiinnitys, verkkolaastin levitys ja verkon asentaminen ja pinnan ohutrapaus ja maalaus.

Rakenteen asennustyö koostuu toisistaan riippuvista osista, jolloin varsinaista suurtehtävän muodostamista ei suoriteta vaan tehtävää lähestytään suurtehtäville ominaisella tavalla, käytetään suurtehtävä-käsitettä, jossa yksi monitoimityöryhmä suorittaa peräkkäin erilaista ammattitaitoa vaativia työvaiheita.

Suurtehtävien avulla voidaan ratkaista tavanomaisia tuotannon rytmitys- ja tahdistusongelmia ja suurtehtävät rikkovat tehtävien työkohderiippuvuuksia ja muuttavat työjohdon tuotantohjauksen työryhmän itseohjaukseen /14/. Työryhmän ohjaus tapahtui ns. nokkamiehen kautta.

Aikataulusuunnittelussa tehtäville muodostettavien työryhmien koko vaikuttaa tietyissä työtehtävissä työmenekin suuruuteen, ryhmän koon vaikutus työmenekkiin pienenee, mikäli ammattitaito ja apu työvoiman raja voidaan soveltaa joustavasti, mikä soveltuukin suurtehtäviin ja monitoimityöryhmään.

Työryhmän kokona on aikataulusuunnittelussa käytetty 2 RAM+1 RM työntekijää. Toteutuneissa kohteissa työryhmän kokona oli keskimäärin 4 R(A)M.

## 9.2.1 HÄIRIÖT

Tuotannon keskeytyksiä rakennushankkeessa aiheuttavat lomat ja arkipyhät sekä huonot sääolot ja tuotannon häiriöt. Arkipyhät merkitään kalenterin mukaisesti, joita touko-elokuussa on 2 kpl. Kesä- ja talvilomat ja pekkasvapaat huomioidaan yrityskäytännön mukaisesti. Aikataulun realistisuus varmistetaan varaamalla suurhäiriöille aikaa ns. vapaata pelivaraa. Suurhäiriöt merkitään pienissä rakennuskohteissa rakennusvaiheen loppuun ja isoissa kohteissa noin kahden kuukauden välein muiden keskeytysten yhteyteen. Suurhäiriövarauksena on 5 % kokonaisajasta laskettuna, joka vastaa perustuvaiheen töiden suurhäiriövarausta.

EPS-ohuttrappausjärjestelmälle suurhäiriöitä voivat aiheuttaa paikallarakentamiseen liittyvät yleiset riskihäiriöt, koneiden ja laitteiden rikkoontuminen ja rakentamisen ja suunnittelun samanaikaisuus ja siitä johtuvat suunnitelmien puutteet ja virheet ja katkokset tuotantoon. Sääolosuhteet aiheuttavat häiriöriskin erityisesti suoritettaessa julkisivukorjausta ilman telineitä ja asianmukaista huputusta. Työ altistuu silloin sateelle ja auringolle, suoraan pinnalle tulevaan auringonpaise-



teeseen voi kuitenkin varautua rytmittämällä työtä, tekemällä työtä normaalin työajan ulkopuolella, mikäli se on kohteessa mahdollista.

### 9.2.2 RAKENNUSAIKATAULUN KIREYS

Rakennusaikataulun kireys tutkitaan vertaamalla hankkeen toteuttamiseen varattua aikaa normaalikeston. Pienten hankkeiden yhteydessä (kokonaistyöpanos alle 10 000 tth ) normaalikesto lasketaan kaavalla

$$T_n = 2 + 3.8 \cdot (\Sigma t_{th}(1...9)/10\,000) \quad \text{kaava (9.1)}$$

jossa  $T_n$  on normaalikesto ( kk )

$\Sigma t_{th}(1...9)$  on hankkeen kokonaistyöpanos (tth), määritettynä TALO-80 rakentamisosien pääryhmien 1...9 mukaisesti.

Savonlinnan seurantakohteessa  $T_n$  on noin 2.9, jolloin varattuun rakennusaikaan (4 kuukautta) verrattuna aikataulu ei ole kireä. Vuosaaren seurantakohteessa  $T_n$  on noin 2.6, jolloin varattuun aikaan (3kk) verrattuna aikataulu ei ole myöskään kireä.

Yleisaikatauluun tehdään resurssilaskelmat osoittamaan työmaan resurssitarve ja aikataulun tavoitearvion vastaavuus. T3-aikamenekin avulla mitoitetuille tehtäville, merkitään vahvuus myös suurhäiriöpäiville. Suurhäiriötä vastaava kokonaistuntimäärä lasketaan, jotta T3-aika voidaan muuttaa T4-ajaksi.

### 9.2.3 TUOTANNON ARVOLASKELMAT

Paikka-aikakaavioon merkittyjä aikataulutehtäviä valvotaan viikoittain valmistuneiden suoritemäärien avulla. Valvonta voidaan tehdä kalenteriaikaan piirretyn paikka-aikakaavion tai tuotantoaikakaavion avulla. Tuotantoaikakaaviassa valvontatietona voidaan käyttää toteutunutta määrätietoa tai valmiusastetta, paikka-aikakaaviassa valmiusastetta. Vuosaaren seurantakohdetta seurattiin paikka-aikakaavion avulla.

### 9.2.4 TUOTANNON ARVO

Tuotannonarvolaskelmia käytetään hankkeen edistymisen ja tuottavuuden valvontaan sekä työmenekkitietojen saamiseksi käyttäen lähtötietoina toteutuneita ja suunniteltuja määriä ja työmenekkejä (tth). Tuotannonarvolaskelmien erot lasketaan seuraavilla kaavoilla:

$$E_a = T_a - T_s \quad \text{kaava (9.2)}$$

$$E_t = T_s - T_t \quad \text{kaava (9.3)}$$

jossa  $E_a$  on aikatauluero (tth)  
 $E_t$  on tuottavuusero (tth)  
 $T_a$  on aikataulun mukaiset tunnit (tth)  
 $T_s$  on sallitut tunnit  
 $T_t$  toteutuneet tunnit (tth)

Aikataulun mukaiset tunnit saadaan työsuunnitelman resurssilaskelmasta tarkasteluajankohtaan laskettuna. Sallitut eli suunnitellun, ei toteutuneen, aikataulun mukaiset tuotannon arvoa vastaavat tunnit saadaan tarkasteluhetkellä tehdyn tuotannon suoritemäärän tavoitetunneista suunnitellun aikataulun valmiusasteen avulla. Toteutuneet tunnit saadaan palkkalaskelmasta ja aliura-



koitsijoilta tai työn seurannasta. Tuotanto on aikataulusta edessä aikataulueron ollessa positiivinen. Tuottavuus on odotettua parempi tuottavuuseron ollessa positiivinen luku. Tuotannonarvolaskelmat tehtävittäin ovat tehtävänarvolaskelmia. Työn seuraaminen tuotannonarvolaskelmilla ei onnistunut suunnitellulla tavalla kohteen luonteen vuoksi, työmenekkiin vaikuttavien suunnitelmien muuttumisen ja työmenetelmien kehittymisen ja eri julkisivujen kunnon vaihtelun johdosta.

Työn valvonta ja ohjaus EPS-ohutrappausjärjestelmässä on kohdistettava työvaiheeseen ennen verkkolastikerroksen levittämistä, sillä tämän jälkeiset työvaiheet (poislukien maalaus) sisältävät tekniset vaatimukset työn tuottavuudelle ja nopeudelle ja lisäksi työvaiheisiin vaikuttaa säätila, johon ei voida vaikuttaa, vain varautua. Työn on oltava ensivaiheista alkaen aikataulussaan ja seuranta on kohdistettava eristelevyn kiinnitykseen ja liittymädetaljien tekoon.

### 9.3 PALAUTETIETOJEN KERÄÄMINEN

Työn suunnittelussa käytettyjen työsaavutus- ja työmenekkiarvojen paikkansapitävyys saadaan selville vasta työvaiheiden käynnistyttyä ja valmistuttua. Palautetietojen perusteella voidaan tarkistaa ennakkosuunnitelmia ja ryhtyä tuotantoa ohjaaviin toimenpiteisiin.

Työvaiheen alun työsaavutus arvot eivät anna oikeaa kuvaa työvaiheen kestosta työn aikana tapahtuvan harjaantumisen vuoksi. Julkisivukorjauksessa korjattavat rakenteet ovat hyvin samankaltaisia, jolloin toistuvan rakennusosan korjaus nopeutuu työn aikana. Harjaantumiseen ja työsaavutuksiin vaikuttaa työryhmän kokemus ja ammattitaito työvaiheittain, töiden ennakkosuunnittelu, ohjaus ja valvonta, työmaatilanne, vuodenaika ja olosuhteet sekä kohteen rakenteiden vaihtelu ja yksilöllisyys. Harjaantuminen on suurinta tehtävissä, jotka ovat monimutkaisia ja joissa on suuri työryhmä.

EPS-ohutrappauksessa käytettävä työryhmä on melko pieni, työmenetelmät ovat yksinkertaisia, käytettävien materiaalien määrä on melko vähäinen ja kalusto ja työkalut yksinkertaisia, jolloin odotettavissa oleva harjaantuminen on pientä, harjaantumiskerroin on odotettavissa olevan välillä 95...100 %, yksittäisissä työn vaiheissa 90 ...100 %.

Suoritemäärän kasvaessa työmenekin keskiarvoa edellisen suoritemäärän kumulatiivisen työmenekin keskiarvosta kutsutaan harjaantumiskertoimeksi /24/. Harjaantuminen johtuu suurelta osin erilaisten häiriöiden vähenemisestä, jotka ovat painottuvat yleensä työvaiheen alkuun /24/. Häiriöitä eli työvaiheen lisäaikoja aiheuttavat koneiden ja kalustojen lisäajat, työnjärjestelyn ja työntekijöiden lisäajat, olosuhde- sekä valmistelu- ja lopetuslisäajat. Häiriöt aiheuttavat viiveitä ja laatuvirheitä, jotka johtavat kustannusten nousuun. Häiriöiden eliminoinemiseksi ja vaikutusten pienentämiseksi EPS-ohutrappausjärjestelmän työmenetelmille on tehty potentiaalisten ongelmien analyysi ja keskeisimmistä työvaiheista kehitetty seurantaa ja työn opastusta helpottavia laaturaportteja.

### 9.4 LAATUTEKIJÄT JA LAADUNVARMISTUS

Häiriöiden varautumiseen potentiaalisten ongelmien analyysillä ennakoidaan tulevat tapahtumat ja niiden seuraukset ja varaudutaan ennalta torjumaan ongelmien syyt ja haitalliset seuraukset.

Analyysi koostuu analysoitavan kohteen ja ajankohdan tunnistamisesta, asiaan vaikuttavan aineiston selvittämisestä ja tilanteen projisoimisesta tulevaisuuteen. Tehtävä jaetaan tapahtumien sarjaksi, jonka olosuhteet ja vaatimukset sekä avainmuuttujat suunnitellaan ja arvioidaan. Tämän



perusteella voidaan luokitella ja priorisoida mahdolliset ongelmat. Toiminnan heikot kohdat etsitään ja keskitetään huomio aiheisiin, joiden vaikutus tuotantoon on merkittävin.

Toiminnan ongelmakohtien kartoittamisen jälkeen arvioidaan ongelmakohtien vakavuus koko prosessin kannalta sekä toteutumistodennäköisyys. Ongelmat, joiden toteutumistodennäköisyys ja/tai toteutumisen jälkeinen vahinko pieni, voidaan karsia pois.

Ongelmakohtien luokittelun jälkeen etsitään häiriöiden syyt ja tunnistamistavat. Syiden analysoimisessa todennäköisyyden sekä tapahtuneiden aikaisempien tilanteiden arviointi mahdollistavat ongelman merkityksen ja seurauksien todennäköisyyden pienentämisen. Toiminta voidaan kohdistaa syitä vastaan, jolloin seurauksen todennäköisyys pienenee tai seurauksia vastaan, jolloin seurausten merkitys pienenee.

Toimenpiteet suunnitellaan ja käynnistetään valvonnan ja erityisten kehitettyjen ilmaisimien, tunnuslukujen tms. avulla, jotka toimivat poikkeaman hälyttimenä. Hälytin on konkreettisesti mitattava tai havainnoitava asia esim. ilman lämpötila tai pinnan paksuus.

Ongelmien todennäköisyyttä ei voida täysin poistaa, jolloin analyysin pääpaino kiinnitetään kustannusten ja hyödyn sekä todennäköisyyden perusteella optimoituihin toimenpiteisiin. Ongelmakohtaisesti valitaan, kohdistetaanko toiminta syihin vai seurauksiin. Analyysin tuloksena tehdään lomake, johon merkitään ongelmien syyt, tehtävät toimenpiteet ja hälyttimet (kuva 9.2). Tämän tutkimuksen yhteydessä potentiaaliset ongelmat muodostuvat suunnitelmista ja työn toteutuksesta.

Työn potentiaaliset ongelmiksi valitaan keskeisimpiä rakenteen lopputulokseen vaikuttavia kohtia, muut laatutekijät esitetään työn kuvauksessa ja laaturaporteissa.

Ongelma	Seuraus	Mahdollisuus	Ongelmien torjunta	Seurauksiin varautuminen / poisto	Hälytin

Kuva 9.2 Potentiaalisten ongelmien analyysilomake

Rakenteen toimivuuteen vaikuttavien yksityiskohtien ja materiaalien analysoinnin kautta voidaan suunnitelmien toimivuus ja alttius tuoteutusvirheille tutkia. Tärkeitä kohteita suunnitelmissa ovat ikkunan vesipellin ja räystään liittymärakenteet, rakenteen liikuntasaumot ja sokkeliratkaisu. Esimerkkinä POT-analyysi

Ongelma	Seuraus	Mahdollisuus	Ongelmien torjunta	Seurauksiin varautuminen / poisto	Hälytin
Veden pääsy rakenteen sisään	Rakenteen pinnoitteen vaurioituminen / irtoaminen, pinnan värierot ja liikaantuminen	Rakenteen vaurioitumisriski pieni, toteutuksessa huolimattoman työn riski suuri	Detaljien huollellinen suunnittelu, valmiiden ikkunapeltiosien ja höyrynsulkunauhojen ja massojen käyttö	Keskitytään syiden poistoon (laaturaportit) ja kiinteistön ylläpidon yhteydessä rakenteen toimivuuden ja osien kunnon seurantaan (huoltoraportti)	Piirustusten puutteet saumojen tiivistämisratkaisussa ja vesipelleissä, sokkelissa kosteussivelyn ja/tai kaksinkertaisen verkon tai kovemman levyn puute



Rakenteen pitkäaikaiskestävyyden kannalta tärkeiden tekijöiden seuranta tapahtuu vaiheittain työn aikana. Näin ehkäistään virheet, joita ei välttämättä lopullisesta valmiista työstä voida havaita vaan virheiden ja puutteiden vaikutukset ja seuraukset olisivat näkyvissä vasta pidemmän ajan kuluttua.

Ongelma	Seuraus	Mahdollisuus	Ongelmien torjunta	Seurauksiin varautuminen / poisto	Hälytín
- Kulma- ja lujiteverkon huolimaton asennus - Liikuntasauoman toteutus - Eristelevyjen limitys, levyjen saumojen avonaisuus ja hammastus	Rakenteen halkeilu  Pakkas- ja kosteusvaurioriskin kasvaminen, pinnan halkeilu ikkuna- ja oviliittymissä	Huolimattoman työn riski suuri, vaurioituminen todennäköistä  "	Laatupiiri ennen työn aloittamista, laaturaportit osakohteista, työvaiheen vastaanototokatselmus Edellisen lisäksi täysi - tai puoli-pontillisen eristelevyn käyttö	Seurauksiin varautuminen kallista, keskitytään ongelman syihin  "	Ikkunakulmien diagonaaliverkkojen puute, verkon limitys alle 100 mm Työn aloituksessa EPS-levyjen limituksen puute, hammastus ja saumojen avonaisuus, silmin havaittavissa ja mitattavissa

Valmiin työn virheet ja puutteet voidaan mitata ja havaita, mutta peittyviä puutteita ja virheitä ei valmiista rakenteesta huomaa, kuten ikkunan kulmaverkkojen puuttuminen, vaan ongelma ilmaantuu myöhemmin rakenteen vaurioitumisena. Työ tuleekin vastaanottaa ja tarkastaa osittain, työvaiheittain ennen edellisen työvaiheen aloittamista joko sisäisen luovutuksen periaatteen mukaisesti tai työnjohdon toimesta.

Ongelma	Seuraus	Mahdollisuus	Ongelmien torjunta	Seurauksiin varautuminen / poisto	Hälytín
- Eristelevyjen asennuksen suoruus, mittapoikkeamia ei sallita	Poikkeaman ollessa suuri, hammastus näkyy valmiista rakenteesta tai pinta on epätasainen, jolloin pinnan paksuuden vaihtelu aiheuttaa halkeamariskin	Rakenteen esikatselmuksen / kuntotutkimuksen puuttuessa yhdessä huolimattoman työn kanssa riski on suuri	Kuntotutkimuksella tietoa rakenteen pinnan mittapoikkeamista ja varautuminen niihin, tarvittaessa pinnan oikaisu, pontillisten levyjen käyttö	Eristeen leikkaus, pinnan hionta tai tasoitus täyttölaastilla tai kiinnityslaastin vahvuuden kasvattaminen	Korjattavan pinnan mittapoikkeama yli 30 mm/1 metrin matkalla
- Pintarappauksen paksuuden vaihtelu	Materiaalimenekien vaihtelu, halkeamariskin kasvaminen, pinnan värisävyssä eroja	Huolimattoman työn riski suuri	Ammattitaitoinen työntekijä, samatekijä koko ajan, laatupiiri ennen työn aloittamista	Pinnan paksuuden mittaaminen, sopimusehdot, arvonalennukset, työn uusiminen	Ohutrappauksen paksuus ei ole välillä 1.5...4 mm
- Pinnan maalauksen halkeilu	Pinta likaantuu normaalia nopeammin	Kesähelteellä +25 °C tai työ tehdään suorassa auringonpaisteessa tai levitetään liian paksu maali tai työvälineenä on liian karvainen tela	Työn siirtäminen aikaiseen aamuun ja pinnan (telineiden) suojaaminen huputtamalla, sääolosuhteisiin sopiva maalin ohennuksen ko-keileminen	Työn siirtäminen aikaiseen aamuun, pinta on jäähtynyt ja lämpöliikkeiden osalta tasaantunut, lyhytkarvainen tela maalin levitykseen	Lämpötila yli 23...25 °C, auringonpaistetta

## 9.5 TYÖKOKONAISUUDEN LAADUNVARMISTUS

Työkokonaisuus	Laadunohjaustoimenpiteet
• Eristelevyjen ja kiinnikkeiden asennus	Menetelmäsuunnitelma, aloituspalaveri, malliasennus, tarkemittaukset (kiinnikkeiden vetokoe), työvaiheen vastaanotto
• Verkkolaasti ja vahvisteverkko	Menetelmäsuunnitelma, tarkemittaus, (työvaiheen vastaanotto)
• Pintarappaus	Menetelmäsuunnitelma
• Ikkunadetaljit	Menetelmäsuunnitelma
• Työn valmistuttua	Vastaanottokatselmus, osavastaanottokatselmus julkisivuittain

Työvaiheen vastaanottokatselmuksessa varmistetaan työn lopputukokselle tärkeiden laatutavoitteen toteutuminen ja laatutason säilyminen. Osavastaanottokatselmuksessa otetaan vastaan valmista työtä alueittain, julkisivuittain. Työvaiheen lopullinen vastaanotto tapahtuu toteamalla osavastaanottokatselmuksia tehdyksi ja niissä todetut virheet korjatuiksi ja suorittamalla viimeinen tarkastuskierros uusien vaurioiden ja virheiden havaitsemiseksi ja niiden korjauksen sopimiseksi.

Työn laatu työvaiheiden aikana ja seuraavien työvaiheiden toteutuksen edellytykset voidaan todeta vastaanottamalla työ osittain eristeiden kiinnittämisen jälkeen, jolloin voidaan todeta pinnan suoruus ja eristeen saumojen tiiveys ja malliasennuksessa tehdyn laadun säilyminen. Järjestelmän pitkäikäisyyden kannalta tärkeä työvaihe on toisen, lasikuituverkon peittävän laastikerroksen levitys. Ennen laastikerroksen levittämistä tulee tarkastaa erillisten lasikuituisten vahvisteverkkojen yhtenäisyys ja jatkuvuus, kriittisiä kohteita ovat aukkojen kulmat ja pielet sekä julkisivuun liittyvien rakenteiden liittymät, kuten parvekelaatan liittymä.

Työnaikainen laadun seuranta ja ohjaus varmistaa urakoitsijan työn laadun säilymisen ja näin vältetään työn korjaamisesta ja uudelleentekemisestä aiheutuva riski työn myöhästymiselle. Liitteessä on malli työn osavastaanottamiselle ja laadunseurannalle järjestelmän työvaiheille, yhteensä kuusi erilaista raporttia.



## 10. TYÖN SEURANTA

Työmenetelmän seurannan ja tiedonkerrun tuloksena tehdään tietokortti, johon kootaan työmenetelmän keskeisiä asioita.

### Tietokortin tuottamisprosessi

Työmaiden kartoitus seurantaan varten  
Työkokonaisuuteen perehtyminen

Valokuvaukset

Tiedonkeruu lomakkeiden valmistus

Menetelmäkorttiluonnos

Tiedon keruun käynnistys

Tiedonkeruun suoritus ja valvonta

Menekki- ja työsaavutustietojen laskenta ja analysointi

Kortin laatiminen

Kuva 10.1 Tietokortin laatiminen

Työmenetelmästä tehdään tarkennetun kirjauksen ja jälkilaskentatietojen tuloksien avulla tietokortti. Saman työryhmän suorittaessa kaikki yhden rakennusosan vaatimat työt, jakautuu työ osavaiheisiin jokaisen toistuvan rakennusosan kohdalla. Tehtäessä tiedonkeruu osittelemalla voidaan arvioida menetelmän vaihdoksen aiheuttama muutos työnvaiheen työmenekissä, esimerkiksi vaihdettaessa eristeen materiaalia.

### 10.1 SEURANTAKOhteet

Erilaisten seurantakohteiden avulla pyritään osoittamaan työsaavutusarvoihin vaikuttavat kohde- ja olosuhdetekijät ja työmenetelmän keskimääräiset työsaavutukset. Seurantakohteita on 1+1 kpl, joista on suoritettu kirjaus. Savonlinnan kohde, kohde 2 on varsinaisesti vain vertailukohde.

Kohde1: Kohde on 8-kerroksinen Helsingin Vuosaarella Ulappasaarentie 4:ssä sijaitseva entinen toimistorakennus, joka muutetaan asuinkerrostaloksi. Julkisivuun asennetaan parvekkeet ja päättyseinät lisälämmöneristetään EPS-ohutrappausjärjestelmällä, eristevähyys 50 mm. Kohde on valmistunut 1968 ja käsiteltävä julkisivupinta-ala on 802 m<sup>2</sup>.

Kohde 2: Kohde sisältää kaksi peruskorjattavaa asuinkerrostaloa, joista talo F on esitelty aiemmin, katso kohta 3.12. Käsiteltävä julkisivupinta-ala on 607 m<sup>2</sup>. Kangasvuokontie 15 E on tiilijulkisivuinen kolmikerroksinen rakennus, jonka parvekerakenteet ovat paikalla valettua maalatua betonia. Rakenteen julkisivuun tehdään EPS-ohutrappaus, eristevähyys 50 mm. Kohde on valmistunut 1974 ja käsiteltävä julkisivupinta-ala on 811 m<sup>2</sup>. Molemmissa kohteissa työn suoritti Kaefer Eristystekniikka Oy.

## 10.2 SEURANTATULOKSET

Tutkimuksessa kirjatut julkisivun korjausmenetelmän työn osavaiheet ovat: eristelevyjen ja kiinnikkeiden asennus, verkkolaastin ja vahvisteverkon asennus, pinnan ohutrappaus ja maalaus. Järjestelmän asennuksen työvaiheiden työmenekit jakautuivat seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 10.1 EPS-ohutrappausjärjestelmän T3 työmenekkejakauma

Työvaihe	tth/yksikkö	tth/julkisivu-m <sup>2</sup>
eristelevyn asennus	0.53...0.59 tth/m <sup>2</sup>	”
verkkolaastikerros	0.46...0.51 tth/m <sup>2</sup>	”
pintarappaus	0.16...0.20 tth/m <sup>2</sup>	”
maalaus	0.08...0.12 tth/m <sup>2</sup>	”
suojaus	0.15...0.27 tth/m <sup>2</sup>	0.03...0.10
siivous	0.05...0.07 tth/m <sup>2</sup>	”

Lisäksi järjestelmän yksityiskohtien työmenekkejä

Taulukko 10.2 Detaljien työmenekkejä, länsi- ja itäpääty

Työvaihe	tth/yksikkö	tth/julkisivu-m <sup>2</sup>
Pitkät kiinnikkeet	0.1...0.14 tth/kpl	0.32...0.4
Eristeen tasaus nurkassa	0.24 tth/jm	0.05
Ikkuna- ja ovismyygien eristeen asennus	0.45 tth/jm	0.18

Pitkien kiinnikkeiden asennuksessa on muista poiketen ollut kahden miehen työryhmä. Lisäksi seurattiin materiaalienekkejä, erityisesti laastien kulutusta.

Taulukko 10.3 Laastien ja maalien materiaalienekkejä

Työvaihe	kg/m <sup>2</sup>	Materiaalivalmistajan ilm. kg/m <sup>2</sup>
Eristelevyn kiinnitys ja saumojen ja kiinnikkeiden kohtien tassa	2.3	2...4
Pelkän eristelevyn kiinnitys	1.75	
Verkkolaasti	6.5	6...9
Ohutrappaus (1.2 mm rae)	2.7, 3.26	1.8
Maalaus	0.3	0.4...0.6

Ohutrappauslaastin ero johtuu työtavasta ja ruiskutuskoneen vaihdosta työn aikana. Ruiskutettavaa rappauslaastia ei hierretä, mutta Ulappasaarentie 4:n kohteessa pinnasta haluttiin tasainen ja pinta hierrettiin teräslastalla.

Rappauksen hiertäminen jättää pintaan käsityön leiman ja pinta on erittäin altis työvirheille ja työntekijöiden ammattitaidolle. Ruiskutettava ohutrappaus ei olekaan suositeltava rappausmateriaali hierrettäväksi.

Eristelevyjen ja kiinnikkeiden menekki oli arvioidun mukainen, seuraava taulukko havainnollistaa materiaalienekkejä.



Taulukko 10.4 Materiaalimenekkejä

Materiaali	Toteutunut	Materiaalivalmistajan ilm.
Eristelevy	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Sokkelilista	1 m/m	1 m/m
Vahvisteverkko	1.05...1.1 m/m	1.05 m/m
Kulmaverkko	"	"
Kiinnikkeet	5...6 kpl/m <sup>2</sup>	5 kpl/m <sup>2</sup>

Materiaalihukkaa muodostui eristelevyjen kiinnityksessä erityisesti ikkuna- ja ovismyygien teos-  
sa, mutta yleisesti järjestelmän materiaaliosien hukat olivat melko pieniä, 5...10 %:a.

### 10.3 SEURANTATULOSTEN ANALYSOINTI

Ulappasaarentie 4:n julkisivukorjaus koostui 4:stä päädyistä, joiden koot suoritusjärjestyksessä olivat 322, 69, 92 ja 313 m<sup>2</sup>. Toisena tehdyn 69 m<sup>2</sup> ns. mallihuoneen päädyssä tuli esille työryh-  
män koon vaikutus työmenekkiin. Työmenekit verrattuna ensimmäisenä tehtyyn länsipäätyyn kasvoivat. Keskeisten T3 työmenekkien erot; länsi-/mallihuonepääty. Eristelevyn kiinnityksessä ei ole huomioitu pitkän kiinnikkeen vaikutusta.

eristelevyn kiinnitys .....	0.53 / 0.59 tth/m <sup>2</sup>
verkkolaastikerros .....	0.46 / 0.51
ohutrappaus .....	0.16 / 0.23
maalauk .....	0.08 / 0.12

Työryhmän koko, 4 RAM, on yhtä rappausruiskusarjaa kohden maksimityöryhmän koko. Hel-  
possa kohteessa, kuten mallihuonepääty, työryhmällä ei saavuteta niitä etuja, mitä vastaavalla  
ryhmällä on korkeassa ja pinta-alaltaan suuressa kohteessa, esim materiaalin kuljetuksessa, rap-  
pauskaluston liikuttelemisessä ja materiaalin syötössä laitteisiin. Työ on matalissa kohteissa  
edullisempi suorittaa pienemmällä työryhmällä, esim. 3 RAM.

Mallihuonepääty oli yksikerroksinen, kun taas länsipääty oli 8-kerroksinen. Työntekijöiden  
työnopeus ei juurikaan noussut työn aikana, harjaantumista tapahtui pääasiassa laastiruiskujen  
käsitteilyssä ja puhdistuksessa sekä työn laatuun vaikuttavien työmenetelmien kehittämisessä.  
Työntekijät eivät olleet järjestelmää ennen asentaneet, vaan heidän ammattitaitonsa oli hankittu  
pääasiassa muuraustoista. Työmenetelmät ovat kuitenkin niin yksinkertaisia, että varsinaista  
harjaantumista ei työmenekkien seurannassa ollut havaittavissa.

Vertailuna saksalaisen materiaalinvalmistajan ilmoittamia työmenekkejä (minuuttia) vastaavalla  
järjestelmällä, suluissa länsipäädyn arvoja.

eristelevyn kiinnitys .....	23 (32) / 0.38 tth/m <sup>2</sup>
verkkolaastikerros .....	22 (28) / 0.37
ohutrappaus .....	12 (10) / 0.20
maalauk/ohutrappauksen pohjaväri....	3 (5) / 0.05

Erot ovat melko pieniä, eristelevyn kiinnityksessä ero on suurin, 28 %:a. Ero johtuu työryhmän  
koosta, kirjauksen epätarkkuudesta ja kirjauskohteen detajien, ikkuna- ja ovismyygien vaiku-  
tuksesta. Lähteen työmenekkiarvot ovat ilmeisesti tavanomaiseen, helppoon kohteeseen.



Kohteen kokonaistyömenekit tth/m<sup>2</sup>; T4/T3

länsipääty .....	2.36 / 2.27
mallihuonepääty.....	3.45 / 2.12
parturihuoneen pääty.....	3.74 / 2.98

Mallihuonepäädyssä ja parturihuoneen päädyssä sattui konerikko, joka nosti T4 ajan näin korkeaksi. Lisäksi parturihuoneen päädyssä osa seinästä, noin 2 metrin korkeuteen tehtiin siporexista, jolloin menekkiarvot eivät ole aivan vertailukelpoisia. Kokonaistyömenekkiä nostivat erityisesti pitkän kiinnikkeen kiinnitys ja ikkuna- ja ovismyygien eristeen asennus ja rappaus sekä eristetyin seinän liittymädetaljiin työläys eristämättömään seinään. Ilman näiden vaikutusta kokonaistyömenekki olisi ollut noin 23 %:a pienempi eli noin 1.8 tth/m<sup>2</sup>.

Tärkeimpiä työmenekkiin ja materiaaliimenekkiin ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä EPS-ohutrappausjärjestelmällä ovat vanhan pinnan purku- ja paikkaustarve ja irtonaisen aineksen määrä, seinäpintojen aukkojen määrä ja tasaisuus sekä pintojen muoto ja koristeet, seinäpintojen mittatarkkuus, vuodenaika ja työryhmän ammattitaito ja harjaantuneisuus sekä kohteen laajuus, kerrosten lukumäärä ja seinäpintojen koko. Julkisivupinnan monimuotoisuus aiheuttaa esimerkiksi lisän eristelevyn asennuksen työmenekkiin, sillä eristelevy joudutaan limittämään aukkojen kohdalla ja asennustyö hidastuu, kohteesta riippuen 20...40 %:a.

Työmenekkien arviointi Ulappasaarentie 4:n kohteen perusteella ei anna tarkkoja arvoja järjestelmän työmenekkijakaumasta ja koko korjausjärjestelmän mahdollisuuksista, työntekijöiden, työnjohdon, suunnittelijoiden ja työmenetelmien harjaantumattomuudesta johtuen.

#### 10.4 KORJAUSKUSTANNUKSET

Ulappasaarentie 4:n julkisivukorjauksen hinta EPS-ohutrappausjärjestelmällä oli 380 mk/m<sup>2</sup> (alv 0 %). Hintaan sisältyi pohjan paikkakorjausta noin 70 m<sup>2</sup>. Julkisivukorjauksen materiaalin hinta oli noin 186 mk/m<sup>2</sup>, mikäli laskelma suoritetaan toteutuneiden menekkien ja ruotsalaisen materiaalitoimittajan Ab Universal Färg:in ilmoittamin materiaalin myyntihintojen perusteella (1.4.1995). Ruotsin kruunun kurssina on käytetty 59 penniä. Materiaalihinnan perusteella kohteen työ kustannuksiksi, teline- ja yleiskustannuksiksi jäi noin 194 mk/m<sup>2</sup>, mikä on työmenekkiin verrattuna alimitoitettu määrä. Savonlinnan Viuhanhakan kohteessa ei pitkiä kiinnikkeitä asennettu eikä rappauspinnan maalausta ja hiertoa tehty, jolloin kohteen materiaalin hinta oli noin 153 mk/m<sup>2</sup>. Verrattaessa muihin yksikkölaskelman perusteella saatuihin materiaalihintoihin tiili- ja Steni-julkisivuverhouksen hinnat ovat samaa luokkaa, 182 ja 183 mk/m<sup>2</sup>. Perinteisellä kolmi-kerrosrappauksella tehdyn lämpörappauksen materiaalihinta on noin 100 mk/m<sup>2</sup>, joka on selvästi tarkastelluista julkisivukorjausmenetelmistä edullisin.

Järjestelmä on kilpailukykyinen hinnaltaan, mikäli työntekijät ovat kokeneita ja työn suoritus työmaalla on johdettua ja detaljien yms. suunnittelu on hoidettu asianmukaisesti ja ennen työn aloitusta. Muihin julkisivun korjausmenetelmiin verrattuna menetelmä on materiaalin hinnaltaan kilpailukykyinen, erityisesti jos kohde voidaan suorittaa ilman erillisiä pitkiä kiinnikkeitä ja lopullinen ohutrappaus tehdään ruiskurappauksena ilman jälkitasoitusta/hiertoa. EPS-ohutrappausjärjestelmän potentiaalinen kilpailukyky onkin järjestelmän materiaalihinnassa ja asennusnopeudessa harjaantuneella työryhmällä sekä pinnan saumattomuudessa ja värivaihtoehdoissa.



## 11. PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO

Korjattavista julkisivupinnoista suurimman osan muodostavat betonielementtijulkisivut, joista ensimmäiset valmistuivat jo 1950-luvun alkupuoliskolla. Elementtituotanto oli voimakasta 1960-luvulla ja vuonna 1972 yli puolet asuinkerrostaloista oli betonielementtirakenteisia. Betonielementtirakenteisten julkisivuelementtien pitkäaikaiskestävyys ei ole ollut odotetun kaltainen, käyttöikää ovat rajoittaneet pääasiassa valmistusvirheet, betonin karbonatisoituminen ja pakkasrapautuminen sekä terästen korroosio. Kestävyteen vaikuttavat tekijät ovat tulleet vasta kokemusten ja ajan kuluessa viranomaismääräyksiin ja normeihin. Heikon laadun ja ylläpidon vuoksi lähivuosina tuleekin korjattavaksi runsaasti pintarakenteita, KORVO-90 tutkimuksen mukaan pintakorjauksen tason pysyessä ennallaan, korjausten arvo nousisi vuoteen 2000 mennessä 600...700 miljoonaan markkaan vuodessa.

Julkisivukorjauksen onnistuminen on riippuvainen kohteen arkkitehtisuunnittelusta ja menetelmän soveltuvuudesta kyseiseen julkisivuun. Julkisivun korjausmenetelmät ovat yleensä joko tuuletusraollisia verhouksia tai kerroksellisia tuuletusraottomia rakenteita. Pintavaihtoehtoja on levyypinta pinnoitettuna tai pinnoittamattomana tai kivirouheisena tai metalli-, tiili- tai betonikivipintana. Tuuletusraottomien rakenteiden pinnat ovat yleensä rappauspintoja. Olemassaolevan rakenteen säilyttävä, mutta ilman lisälämmöneristettä oleva korjausmenetelmä on betonin uudelleenalkalointi.

Julkisivun korjausmenetelmien rakennuskustannukset vaihtelevat yleensä välillä 380...600 mk/m<sup>2</sup> (alv 0 %), kun korjaus sisältää lämmöneristeen. Kustannukset vaihtelevat yhden menetelmän puitteissa olosuhdetekijöistä ja kohteen ominaisuuksista riippuen kuitenkin lähes yhtä paljon. Julkisivun korjausmenetelmiä valittaessa taloudellisessa vertailussa korjauksen rakennuskustannusten lisäksi tulisi huomioida koko investointiajan vaikutus, jolloin tulisi huomioiduksi rakenteen pitkäaikaiskesto ja huoltotarve, lähinnä lisäeristämisen vaikutus rakenteen lämmönkulutukseen ja likaantumisen nopeus.

Julkisivukorjaus EPS-ohutrappausjärjestelmällä on 20 vuoden annuiteetilaskelman perusteella edullisinta suorittaa nykyisillä lämmitysenergian hinnoilla 50 mm:n eristyspaksuudella.

EPS-ohutrappausjärjestelmän tuotteille asetetaan vaatimuksia vesihöyrynläpäisevyydelle ja kapillaariselle vedenimukyvyille saksalaisissa DIN-normeissa. Vaatimuksissa vesihöyryyn vastuksen tulee  $s_d$  arvolla mitattaessa olla alle 2 metriä ja vedenimukyvyn  $w$  alle 0.5 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>. Järjestelmä on kehitetty ja sen päämarkkina-alue on Saksassa, joten markkinoilla olevat järjestelmät täyttävät yleensä normin vaatimukset. DIN-normin täyttäminen antaa lähtökohdan järjestelmän toimivuudelle pohjoismaisissa olosuhteissa.

Järjestelmän rakennusfysikaalista toimivuutta mallinnettiin diffuusiolaskelmin vuoden tarkastelujakson ajan. Mitoituspaikkakuntana oli Sodankylä ja sisäilman kosteuspitoisuutena käytettiin + 4 g/m<sup>3</sup> ulkoilman kosteuspitoisuuteen verrattuna. Materiaaleina on käytetty kolmen saksalaisen toimittajan, Sto:n, Captect:in (Dispotherm) ja Alsecon tuotteita. Laskelmat on suoritettu yleisille kivipintaisille julkisivurakenteille. Laskelman tuloksia vertailtiin VTT:n rakennusfysiikan laboratorion vastaavilla rakenteilla suoritettuihin laskelmiin.

EPS-ohutrappausjärjestelmä on rakennusfysikaalisesti toimiva rakenne. Laskelman tuloksena järjestelmä toimii Sodankylän olosuhteissa rakennetta kuivattavasti ja rakenteeseen ei talviaikana tiivisty kosteutta kuin Sto:n tuotteilla, siporex ja tiilirakenteille, 88 ja 95 g/m<sup>2</sup>. Kuivuvat kosteusmäärät olivat Sto:lla 1.3...1.5 kg/m<sup>2</sup>, Dispothermillä 2.8...2.9 kg/m<sup>2</sup> ja Alsecolla noin 13 kg/m<sup>2</sup>. VTT:n laskelmien mukaan rakenteesta poistuva kosteus vuoden tarkastelujakson aikana



Sto:n tuotteilla päällystetyllä betonisandwich-rakenteelle oli noin  $1.5 \text{ kg/m}^2$ . Ulappasaarentie 4:ää vastaava betoni-siporex rakenne kuivui diffuusiolaskelmien mukaan  $2.96 \text{ kg/m}^2$ , VTT:n laskelmien mukaan kuivuva kosteus määrä oli ensimmäisenä vuonna noin  $1.55 \text{ kg/m}^2$ . Erot johdettavat laskentamallin ja lähtöarvojen eroavaisuuksista.

Diffuusiota tarkastelun suorittaminen läsinlaskumenetelmällä aiheuttaa virheitä lopputulokseen rakennneosien materiaalien lämpö- ja kosteusfysikaalisten ominaisuuksien puutteellinen tunteminen ja yksinkertaistus, sekä oletus yksilöteisestä virtauskentistä ja homogeenisista rakennusosista sekä sateen ja auringon vaikutuksen poisjättäminen. Laskelmat antavat kuitenkin varmalla puolella olevan tuloksen ja luotettavan arvion menetelmän soveltuvuudesta.

Rakenteen kuivuminen pysäyttää terästen korroosiotilan materiaalin kosteuspitoisuuden laskiessa alle 80 %:n. Lisäksi kosteuspitoisuuden aleneminen parantaa alkuperäisen rakenteen lämmöneristyskykyä. Lisäeristäminen nostaa rakenteen lämpötilaa, jolloin pakkasrapautuman riski pienenee ja rakenteen lämpötilan vaihtelut ja siitä aiheutuvat muodonmuutokset pienenevät.

Palonkestävässä rakennuksessa ulkoseinät tulee tehdä palamattomista rakennustarvikkeista. Järjestelmän solupolystyreenilevy ei ole palamatonta materiaalia. Eriste on palosuojakäsittely ja se ei ylläpidä palamista, vaan sammuu palopesäkkeen loitontuessa. EPS-ohutrappausjärjestelmä on tyyppihyväksytty Ruotsissa käytettäväksi enintään kahdeksankerroksisiin rakennuksiin pois lukien sairaanhoito- ja huoltolaitosten huoneistoja käsittävät rakennukset. Suomessa ei ole Ruotsin palokokeen kaltaista hyväksymismenetelmää, jolla julkisivurakenne voitaisiin hyväksyttää käytettäväksi korjausrakentamisessa myös palonkestäviin rakennuksiin. Tällä hetkellä EPS-ohutrappausjärjestelmän hyväksymisen julkisivukorjauksiin palonkestävissä rakennuksissa tapahtuu kohdekohtaisesti paikallisten rakennusvalvontaviranomaisten toimesta.

Yleisimpiä järjestelmän vaurioita ovat iskujen ja töytäisyjen aiheuttamat vauriot ja rakenteen halkeilu, erityisesti aukkojen kulmissa ja nurkissa. Vaurioiden syynä ovat olleet työvirheet ja erillisen iskulujuutta parantavan vahikeverkon puuttuminen. Halkeamat ja iskujen aiheuttamat kolot eivät heikennä rakenteen pitkäaikaiskestävyyttä, vaan vauriot ovat pikemminkin kauneusvirhe, eristeen kosteusteknisten ominaisuuksien vuoksi, sillä EPS ei ole hygroskooppinen eikä sillä ole kapillaarista vedenimukykyä. Lisäksi ohutrappaustuotteilta vaaditaan pientä vedenimukykyä ja vesihöyryn vastustuskykyä rajoitetaan ( $s_d$  arvo alle 2 m), jottei pintarappauksen alle kertyisi kosteutta. Järjestelmä ei olekaan niin vaurioherkkä kuin esimerkiksi perinteinen kolmi-kerrosrappaus on.

Järjestelmässä ei ole erillistä liikuntasaumaa ja rakennekerrosten muodonmuutokset aiheuttavat rakenteeseen jännityksiä. Jännitykset riippuvat materiaalien suhteellisesta muodonmuutoksesta sekä rappausmateriaalien ja EPS:n kimmomoduulista sekä EPS:n ja erityisesti laastikerroksen kutistumasta. Rappausmateriaalien pituuden lämpötilakertoimet ovat lähellä betonin ja teräksen arvoja ja kimmomoduulit ovat pieniä ( $600 \dots 5000 \text{ N/mm}^2$ ). EPS:n pituuden lämpötilakerroin on 5...7 kertainen verrattuna betonin vastaavaan arvoon, mutta rakenteen kimmomoduuli on vastaavasti pieni,  $2.3 \text{ N/mm}^2$  ja liukumoduuli  $1.1 \text{ N/mm}^2$ . Järjestelmän lämpötilanvaihteluja ja muodonmuutoksia rajoitetaan käyttämällä pintaväreinä vain vaaleita värisävyjä.

Järjestelmän muodonmuutoksista mallinnettiin FEM-laskentaohjelmalla Dispotherrin ja Alsecon tuotteilla. Laskentamalleja oli kaksi, laskentamalli 1 ilman pohjarakennetta ja laskentamalli 2 kiinnitettynä betonisandwich-rakenteen ulkokuoreen. EPS eristeen paksuus oli 50 mm:ä ja verkkolaastikerros oli ilman lasikuituverkkoa. Laskelmien mukaan eristeen ja elementin sauman osuminen kohdakkain ei juurikaan lisää rakenteen jännityksiä, mutta limittämällä eristelevy ele-



mentin saumojen kohdalla estetään mahdollisen saumavaurion aiheuttaman kosteusvirran kulkeutuminen suoraan rappauskerrokseen.

Laskelmien mukaan  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n pakkasrasituksesta aiheutuvat vetojännitykset ylittävät rakenteen verkkolaastikerroksen lujuuden. Ilman tarkempia materiaalikokeita ja -koestuksia tulee järjestelmän käyttöä välttää olosuhteissa, joissa lämpötila laskee toistuvasti  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een.

Menetelmän asennuksen keskeisimmät laatutekijät ovat eristelevyjen asennuksen suoruus ja kiinnityslaasti kiekuran yhtenäisyys sekä eristelevyjen liittyminen toisiinsa ilman saumoihin muodostuvaa rakoa. Eristelevyn saumakohdat pysty- ja vaakasuunnassa asennetaan niin, etteivät saumat osu aukkojen ja pinnasta ulkonevien rakenteiden reunojen kanssa kohdakkain. Kulma-kohtiin ja aukkojen smyygeihin sekä rakenteen ulkokulmiin asennetaan erillinen diagonaalinen vahvisteverkko. Työvaiheen vahvisteverkon asennuksen laatu on keskeinen rakenteen pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Verkkolaastikerroksen tasaisuus ratkaisee lopullisen pinnan tasaisuuden. Rakenteen ulkokulmissa eristelevy limitetään sormiliitoksen tapaan, vertaa tiilirakenteet.

Työtelineiden suojauksella vältetään sään aiheuttamat keskeytykset ja katkokset verkkolaastin, ohutrappauksen ja maalin levittämässä. Materiaalien kuivuminen on tasaista ja hallitumpaa, kun julkisivu on auringonpaisteelta ja sateelta suojattu. Suojauksella ja olosuhteiden mukaan mitoitettulla kuivumisajalla vältetään materiaaliveauriot ja kuivumiskutistumasta aiheutuva halkeilu. Yleensä materiaalikerrokset ehtivät kuivua viikonlopun aikana.

Rakenteen laadussa ja erityisesti rakenteen pinnan ulkonäössä korostuu työryhmän ammattitaito ja huolellisuus sekä ohjauksen ja valvonnan merkitys, erityisesti rakenneyksityiskohdissa pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Järjestelmän keskeisten laatutekijöiden toteutuksen onnistuminen vaatii koulutetun ja osaavan työvoiman ja työnjohdon.

Urakkasopimukseen voidaan liittää lauseita, joissa selvennetään ja varmistetaan työn laatukohdat ja valvonnan peruslähtökohdat. Sopimuslauseet kohdistetaan yleisten aikataulu ym. laatutekijöiden lisäksi työsuorituksen sääolosuhteisiin. Järjestelmälle ominaisen  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilavaatimuksen lisäksi vaatimuksia tulee asettaa julkisivun suojaamiselle suoralle auringonpaisteelle tai sateelle rappaustyön ajan ja 12:a tunniksi työn jälkeen. Julkisivu tulee suojata myös maalauksen ajan ja muutamaksi tunniksi sen jälkeen tai maalaus tulee suorittaa sellaisena ajankohtana, ettei auringonpaiste pääse suoraan julkisivupintaan. Sopivin maalauslämpötila on  $10\text{...}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Korkeammissa lämpötiloissa maalaukseen tulee helposti kuivumiskutistumia, erityisesti silikonin ja silikonihartsimaaleilla.

Järjestelmän asennuksen nopeuteen vaikuttaa työryhmän harjaantuneisuuden ja ammattitaidon lisäksi julkisivupinnan ja aukkojen smyygien määrä ja kunto. Järjestelmän ulkonäön ja työmenekkien kannalta on edullisinta käyttää lopullisena julkisivupintana ruiskutettua rappauspintaa ilman pinnan tasausta ja hierontaa.

Itse EPS-ohutrappausjärjestelmän työvaiheiden työmenekki seurattujen kohteiden perusteella ilman pitkiä kiinnikkeitä on noin  $1.2\text{...}1.3\text{ tth/m}^2$ . Seurantakohteen julkisivujen kokonaistyömenekit vaihtelivat välillä  $2.4\text{...}3.7\text{ tth/m}^2$ . Kokonaistyömenekkiä nostavat kohteen julkisivupinnan sekä ikkuna- ja ovismyygien tasauksen ja korjauksen vaatima työ määrä ennen järjestelmän asennusta, kohteen korkeus ja detaljien määrä sekä sääolosuhteet ja niihin varautuminen. Sopivin työryhmä yhtä rappauskonekalustoa kohden on 3...4 RAM.

Verrattaessa EPS-ohutrappausjärjestelmää muihin rappausmenetelmiin, järjestelmän eriste ja materiaalit yleisesti ovat hinnaltaan kilpailukykyisiä. Pintavaihtoehtoista ruiskutettu rappauspin-

ta on edullisin. Järjestelmällä voidaan tehdä yhtenäinen ja saumaton pinta, jonka pintastruktuuria ja väriä voidaan vaihdella. Järjestelmä on pitkäikäinen ja pinta voidaan huoltaa pesemällä ja maalaamalla. Rakennejärjestelmän vaurioalttiutta materiaalien elastisuuden ja pienen vedenimukyvyn vuoksi on pieni.

Jatkotutkimustarpeena on järjestelmän materiaalien, erityisesti ohutrappausmateriaalien, muodonmuutoskyvyn ja lujuuden mittaaminen alhaisissa lämpötiloissa ja lämpötilan vaihdellessa.

Suomessa ei valmisteta pintarappaukseen soveltuvia elastisia rappausmateriaaleja. Jatkokehitysmahdollisuutena on suomalaisen kiinnitysverkon ja rappausmateriaalien kehittäminen. Kehitysprojektiin liittyisi materiaalien käyttäytymisen selvittäminen alhaisissa lämpötiloissa. Kiinnostusta tuotteen kehittämiseen heikentää Suomen markkinoiden koko ja järjestelmän rakentamismääräysten mukainen paloluokitus.

Tärkein kehityskohde järjestelmän soveltuvuudessa Suomen korjausrakentamismarkkinoille on Ruotsin mallin mukaisen luonnollista kokoa olevan julkisivun polttokokeen saaminen Ympäristöministeriön hyväksymäksi polttokokeeksi. VTT:lla on valmiudet kokeen suorittamiseen, mutta kokeen hyväksymiskriteerit ja reunaehdot vielä puuttuvat.



## LÄHDELUETTELO

- /1/ Adamsson, B., Ahlgren, L., Bergström, S.G., Nevander, L.E., Fukt, byggnadstekniska fuktproblem. Stockholm 1970. Statens råd för byggnadsforskning, Programskrift 12. 132 s.
- /2/ Aikkila Anne, Hekkanen Martti. Asuinkerrostalon korjaushankkeen laatukustannukset. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 755. Espoo 1987.
- /3/ Asp-Lehtinen Marja, Tuuliniemi Virpi, Pentti Matti. Julkisivumaaleista ja niiden kestävydestä. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Talonrakennustekniikka. Raportti 44. Tampere 1991
- /4/ Bier T.A. Karbonatisierung und Realkalisierung von Zementsein und Beton. Massivbau, Baustofftechnologie, Karlsruhe. Heft 4. 1988.
- /5/ Björkholtz, D. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikkaa. Rakentajain kustannus Oy. Helsinki 1987.
- /6/ Brillux, AWD Außenseitiges Wärmedämm-Verbundsystem. Tuote-esitekansio. 1995.
- /7/ Capatect. Verarbeitungsanleitung für die Capatect-Wärmedämm-Verbundsysteme. Tuote-esite Capatect Dämmsysteme GmbH & Co. Energietechnik KG. Saksa 1995.
- /8/ Dispotharm-system 600. Tillägsisolering och puts på fasader-socklar. Tuote-esite. AB Universal Färg. Ruotsi 1990.
- /9/ EOTA-European Organisation for Technical Approvals. DRAFT ETAG, guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. November 1994. 46 s.
- /10/ Heimala Aimo, Punakallio Eero. Julkisivututkimus. Vuosina 1965-1980 rakennettujen asuinkerrostalojen betonirakenteisten julkisivujen korjaustarve ja mahdollisuudet. Asuntohallitus, tutkimus ja suunnitteluosasto, asuntotutkimuksia 5:1993. Helsinki 1993.
- /11/ Hieta Jukka. Julkisivun korjaus ruiskutekniikoilla. Diplomityö. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Talonrakennustekniikka. 1994
- /12/ Hänninen Jari. Rakenteen epästationäärisen kosteuskäyttäytymisen laskentamalli diffuusioalueella. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööriosasto. Espoo 1985. 90 s.
- /13/ Ikonen Pia. Kevytrakenteiset julkisivun korjausmenetelmät. Diplomityö. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Talonrakennustekniikka. 1994
- /14/ Kankainen Jouko, Sandvik Tom. Rakennushankkeen ohjaus. Rakennusteollisuuden keskusliitto. Helsinki 1993. 83 s.
- /15/ Kauppa ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Julkisivun lisäeristäminen. SITRA, Julkisivun pintakäsittely ja lisäeristämisprojekti. Rakentajain kustannus Oy 1991.

- /16/ Kohonen R, ym. Lisälämmöneristettyjen rakenteiden kosteustekninen toiminta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 277. Espoo 1984. 93 s.+ liit. 17 s.
- /17/ Kohonen Reijo, Kokko Erkki, Mähönen Timo, Ojanen Tuomo. Mineraalivillaeristysten ilmavirtaukset ja tuulensuojaus. Tutkimuksia 431. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo 1986. 119 s.
- /18/ Kokki Pertti. Eriytetty kuorirakenne julkisivujen peruskorjaukseen. Julkisivu ja peruskorjausopas. Suomen Mediapalvelu Oy. Helsinki 1995.
- /19/ Komulainen Pekka. Betonirakenteiden säilyvyysongelmat Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennusinsinööriosasto, Huoneenrakennustekniikka. 1984.( ja maanmittaustekniikan osasto, Rakennetekniikan laitos 1984.)
- /20/ Kropp. J., Karbonatisierung und Transportvorgänge im Zementseim. Universität Karlsruhe. 1983.
- /21/ Künzel Helmut. Die Hygrothermische Beanspruchung von Außenputzen als Schadenursache bei Wärmedämmverbundsystemen. Bauphysik 12 H.3 1990 s. 104-109.
- /22/ Künzel Helmut. Untersuchungen über das Verhalten von kunststoffbeschichyeyen Styropor-Hartschaumplatten auf Außenwänden in der Praxis. Sonderdruck nach Deutsche Bauzeitung 9, 1977.
- /23/ Künzel, Kießl, Gertis. Die Bewertung von Putzrissen bei Wärmedämmverbundsystemen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik. IBP-Bericht FB-62/1995.
- /24/ Lahdenperä Pertti. Työsaavutustiedot korjaushankkeen ohjauksessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 668. Espoo 1989. 201 s. + liitt. 28 s
- /25/ Leino Ilpo. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, SPEK. Kiinteistö OY Viuhanhakan lisälämmöneristys, Savonlinna. Lausunto 22.12.1994.
- /26/ Lilja Olavi. Suunnittelija. Ympäristöministeriö, asunto-ja rakennusosasto. Haastattelu 13.1.1995.
- /27/ Luhanka Juha. Saumat ovat tärkeä osa elementtijulkisivua. Betoni 2/94. Helsinki 1994
- /28/ Mehto Lauri, Pentti Matti, Käkönen Heikki. Betonijulkisivujen karbonatisoituminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka. Raportti 41. Tampere 1990.
- /29/ Mäkelä Metals. Liberta kasettijulkisivun tuotekansio. Rautaruukki Oy, rakennustuoteryhmä. 1994.
- /30/ Oberhaus, Heribert. Zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit mineralischer Wärmedämm-Verbundsysteme. Dissertation. Konstruktiver Ingenieurbau, Universität Dortmund Heft Nr. 17. August 1994.
- /31/ Parrot, L.J., A review of carbonation in reinforced concrete. Cement and Concrete Association. Wexham Springs 1987.



- /32/ Pekkala Vilho. EPS-lisälämmöneristetty ja ohutlaastilla pinnoitettu julkisivu. 3 s. Helsinki 1995, julkaisematon.
- /33/ Pentti, Matti. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka. Raportti 33. Tampere 1988.
- /34/ Pirttilä Erkki, Vikström Kari, Osara Leo. Betonielementtijulkisivujen viat ja vauriot. Asuntohallitus, tutkimus- ja suunnitteluosasto, asuntotutkimuksia 4:1989. Helsinki 1990.
- /35/ Päckilä; Aikivuori. Rakentajain kalenteri 1993. Rakentajain Kustannus. Helsinki 1993
- /36/ Rakennuslehti Extra Nro 16 B, 15.6.1995, Helsinki.
- /37/ Rakentajain Kalenteri 1995. Osa 1, käsikirja. Rakentajain Kustannus. Helsinki 1995.
- /38/ Reyer, E. WDV als Sanierungsmaßnahme. Ruhr-Universität Bochum. Lehrstuhl für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik. Bochum-Querenburg. 1993.
- /39/ RIL 155. Lämmön ja kosteuden eristys. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1985
- /40/ RIL K171-1995 Korjausrakentaminen V-Rakennusten julkisivu- ja ulkoseinärakenteiden korjaus Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y Helsinki 1995. 265 s.
- /41/ RT-säännöstiedosto, RT-SM-20481. Sisäasianministeriö, kaavoitus ja rakennusosasto. Yleiskirje n:o 2358/541/82. Korjausrakentamisen edistäminen rakennuslautakunnille. 15.12.1982.
- /42/ Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. RIL K 145, Betonirakenteiden säilyvyys, vauriot ja korjaaminen. Helsinki 1991.
- /43/ Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa A1. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto
- /44/ Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B4. Betonirakenteet. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Ohjeet 1987, muutettu 1993.
- /45/ Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa E1. Rakenteellinen paloturvallisuus. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. 1981.
- /46/ Suomen virallinen tilasto VI C:107; Rakennukset ja asunnot. Tilastokeskus. Helsinki 1988.
- /47/ Suvanto Tomi. EPS-ohutrappausjärjestelmän soveltuvuus suomalaisille julkisivuille. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka. Diplomityö. Tampere 1993.
- /48/ Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Sertifikaatti Nro 93/4, Isora-EPS eristysjärjestelmä (Dispotharm 600). Myöntämispäivä 15.12.1993.

/49/ Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Rakennustekniikka. Rakennusfysiikka, Tutkimusselostus N:o RTE10094/95. 20.03.1995.

/50/ Vesikari, Erkki. Betonirakenteiden käyttöikä. VTT tutkimuksia 417. Espoo 1986.

/51/ Viljanen Martti. Lämmön siirtyminen säteilyllä rakennuksen vaipan pinnoilla. Teknillinen korkeakoulu. Rakennusinsinööriosasto. Rakennetekniikan laitos. Julkaisu 67. Espoo 1984.

/52/ Vogdt Frank Ulrich. Verhalten von WDV-Systemen auf Vorsatzschichten von Dreischichtenplatten. Tu Berlin IBF. Seite 126...132.

/53/ Vuorinen Pekka. Korkealujuuksisten betonien pakkasenkestävyys ja karbonatisoituminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Rakennetekniikan laitos, Talonrakennustekniikka. 1987.

/54/ Weber, Helmut u.a. Fassadenschutz und Bausanierung. Kontakt & Studium. Band 40. Expert Verlag. Renningen-Malmsheim 1993.

/55/ Ympäristöministeriö. Kaavoitus ja rakennusosato. Tiedotuksia 6/1983. Rakenteellinen paloturvallisuus. Määräysten soveltamisesimerkkejä. Helsinki 1983.



**Julkisuvukorjauksen yksikköhintalaskelma****Steni 8 mm**

Työvaihe/tarvike	Hankintakustannus/ umpi-m2			Työkustannus/m2	
	määrä.	yks.	mk	tth	mk
Riipputeline			22,00	0,1	5,70
Kestopuukoolaus	2,00	jm	7,10	-	
Tuulensuojalevy 50mm+kiinnikkeet	1,05	m2	22,00	-	
Tuuletusrimat 22 ·100	2,00	jm	2,30	0,5	28,50
k600				-	
Verhouslevy, kiinnikkeet ja listat	1,05	m2	147,69	0,7	39,90
Avustavat työt	1,00	m2	4,40	0,15	8,55
Sosiaalikulut	65,5	%			54,14
Hankintakustannukset					205,49
Työkustannus (ilman sos.kuluja)					82,65
Käyttö- ja yhteiskustannukset	25	%			85,57
Yhteensä mk/m2					427,85
Pellitykset					8,5
				Yht	436
				YHT sis. ALV	532 mk

**Liberta 200****PVF-2, paksuus 1.2 mm**

Työvaihe/tarvike	Hankintakustannus/ umpi-m2			Työkustannus/m2	
	määrä.	yks.	mk	tth	mk
Riipputeline			22	0,1	5,7
Kestopuukoolaus	2	jm	7,10	-	
Tuulensuojalevy 50mm+kiinnikkeet	1,05	m2	22,00	-	
Tuuletusrimat 22 ·100	2	jm	2,30	0,5	28,5
k600				-	
Teräsohutlev, kiinnikkeet ja listat	1	m2	242	0,5	28,5
Avustavat työt	1,00	m2	4,40	0,15	8,55
Sosiaalikulut	65,5	%			46,67
Hankintakustannukset					299,80
Työkustannus					71,25
Käyttö- ja yhteiskustannukset	25	%			104,43
Yhteensä mk/m2					522,15
Pellitykset					8,5
				Yht	531
				YHT sis. ALV	647 mk

**Lämpörappaus**

Työvaihe/tarvike	Hankintakustannus/ umpi-m2			Työkustannus/m2	
	määrä.	yks.	mk	tth	mk
Telinetyö			104		
Mineraalivilla 50 mm+kiinnikkeet	1,05	m2	21,3	-	
Rappausverkko+kiinnikkeet	1,3	m2	30,7	0,4	22,8
Pohjarappaus KS 10/90/350	4	kg	3,76	-	
Oikaisurappaus	20	kg	18,4	0,6	34,2
Pintarappaus	7	kg	22,26	-	
Kalkkisementtimaali	0,5	kg	4,46	0,35	19,95
Avustavat työt	1	m2		0,35	19,95
Sosiaalikulut	65,5	%			63,47
Hankintakustannukset					204,88
Työkustannus					96,90
Käyttö- ja yhteiskustannukset	25	%			91,31
Yhteensä mk/m2					456,56
Pellitykset					8,50
				Yht	465

YHT sis. ALV 567 mk

**Tiiliverhous**

Työvaihe/tarvike	Hankintakustannus/ umpi-m2			Työkustannus/m2	
	määrä.	yks.	mk	tth	mk
Telinetyö			104		
Kannatinpalkki tartuntoineen	0,05	jm/m2	5,00	0,05	2,85
Mineraalivilla 50 mm+ kiinnikkeet	1,05	m2	21,30	0,05	2,85
Tiili+laasti+aukkopalkit	1	m2	154,64	1,8	129,60
Avustavat työt ja nostopalvelu	1	m2	1,50	0,7	39,90
Sosiaalikulut	65,5	%			114,76
Hankintakustannukset					286,44
Työkustannus					175,20
Käyttö- ja yhteiskustannukset	25				135,30
Yhteensä mk/m2					711,70
Pellitykset					8,50
				Yht	720

YHT sis. ALV 879 mk



**Rati-elementti**

Työvaihe/tarvike	Hankintakustannus/ umpi-m2			Työkustannus/m2	
	määrä.	yks.	mk	tth	mk
Telineet			104		
Kestopuukoolaus	2 jm		7,10	0,1	5,70
Mineraalivilla 50 mm+kiinnikkeet	1,05 m2		21,30	-	
Tuuletusrimat 22 ·100	2 jm		2,30	0,4	22,80
k600				-	
Savitiili-Rati-elementit	1 m2		311	-	
Saumalaasti	6 kg		4,1	0,8	45,60
Avustavat työt ja nostot	m2		3	1	57,00
Sosiaalikulut	65,5 %				85,87
Hankintakustannukset					452,80
Työkustannus					131,10
Käyttö- ja yhteiskustannukset	25 %				167,44
Yhteensä mk/m2					837
Pellitykset					8,50
				Yht	846
				YHT sis. ALV	1032 mk





Julkisivuelementti  
Seinä 2

ms	di [mm]	li [W/mK]	kdi*10 <sup>-1</sup> [kg/msPa]	ni [m²K/W]	mi/m [-]
Betoni	150	1,70	12	0,088	0,0235
Mineraalivilla	110	0,05	105	2,20	0,5862
Betoni	60	1,70	12	0,035	0,0094
Polystyreeni EPS	50	0,041	6	1,220	0,3249
Verkoituslaasti	4	0,70	5,02	0,006	0,0015
Pinnote	3	0,70	3	0,004	0,0011
mm	Yht. 0,040 0,011 3,753 m²K/W				

DDSW6KAN.XLS

Sodankylä

Lämpötila	RH	Tiivistyvä kosteus
Tammikuu -14,9	85,0	-44,5 g/m2kk
Helmiokuu -14,1	83,0	-48,2
Maaliskuu -9,1	80,0	-88,0
Huhtikuu -2,2	73,0	-197,9
Toukokuu 4,8	67,0	-437,8
Kesäkuu 11,4	65,0	-728,2
Heinäkuu 14,1	69,0	-795,4
Elokuu 11,3	78,0	-448,1
Syyskuu 5,9	84,0	-196,4
Lokakuu -0,6	88,0	-80,7
Marraskuu -7,3	89,0	-45,2
Joulukuu -12,8	89,0	-37,3
OK		

Tiivistyvä kosteus	0	g/m2	eli rakenne kuivuu
Kuivuva kosteus	-2 967	g/m2	
Yht	-2 967	g/m2	

0,13 W/m²K

Tammikuu	di [mm]	kdi*10 <sup>6</sup> kg/msPa	ri*10 <sup>-9</sup> [m²sPa/kg]	ri /k [-]	Dpi [Pa]	P [Pa]	pk [Pa]	Dt [°C]	t [°C]
ms	-	-	-	-	-	701	2331	1,488	20,000
Betoni	150	12	12,50	0,438	244,99	456	2018	0,821	18,512
Mineraalivilla	110	105	1,05	0,037	20,53	435	497	20,458	17,692
Betoni	60	12	5,00	0,175	98,00	337	485	0,328	-2,766
Dispothermi-lima	0	5,02	0,00	0,000	0,00	337	485	0,000	-3,095
Polystyreeni EPS	50	6	8,33	0,292	163,33	174	200	11,340	-14,435
Verkoituslaasti	4	5,02	0,80	0,028	15,62	158	199	0,053	-14,488
Pinnote	3	3,45	0,87	0,030	17,04	141	198	0,040	-14,528
mm	-	-	-	-	-	141	192	0,372	-14,900
Sni = 28,547 *10 <sup>-9</sup> m²sPa/kg									

Ulkoilman lämpötila	31	päivää
" suhteellinen kosteus	-14,9	°C
	85,0	%

" vesihöyryn osapaine kylästystilass	166,0	N/m2
" vesihöyryn osapaine	141,1	N/m2
" vesihöyrypitoisuus max	1,39	g/m3
" vesihöyrypitoisuus	1,18	g/m3
Sisäilman lämpötila	20	°C
" vesihöyrypitoisuuden lisä	4	g/m3
" suhteellinen kosteus	30,0	%
" vesihöyryn osapaine	701	Pa
" vesihöyryn osapaine kylästystilass	2338	Pa
Paineiden erotus p sisä-p ulko	560	Pa
Lämpötilojen erotus	34,9	°C
gkond = -2E-08	kg/m2s	
gkond = -44,46	g/m2kk	
Summa	-2E-08	kg/m2s

Seinä 3  
Dispotherm

	di	li	kti*10 <sup>-1</sup>	mi	mi /m
ms	[mm]	[W/mK]	[kg/msPa]	[m <sup>2</sup> K/W]	[-]
			0,160	0,0490	
Betoni	80	1,700	12	0,047	0,0144
Lämmöneriste	50	0,050	105	1,60	0,4905
Tiili	130	0,700	42	0,186	0,0569
Polystyreeni EPS	50	0,041	6	1,220	0,3738
Verkotuslaasti	4	0,70	5,02	0,006	0,0018
Pinnointe	3	0,70	3,45	0,004	0,0013
mtu				0,040	0,012
				3,262	m <sup>2</sup> K/W

k-arvo = 0,31 W/m<sup>2</sup>K Vanhan rakenteen k-arvo =

0,49

W/m<sup>2</sup>K k-arvon parannus =

0,19 W/m<sup>2</sup>K

Sodankylä

DDSehMA3.XL8H

Tiivistyvä kosteus

Tammikuu	-14,9	85,0	-25,2	g/m2Kk
Helmi	-14,1	83,0	-30,1	
Maalisk	-9,1	80,0	-69,1	
Huhtik	-2,2	73,0	-182,8	
Toukok	4,8	67,0	-428,5	
Kesäku	11,4	65,0	-726,8	
Heinäku	14,1	69,0	-794,8	
Eloku	11,3	78,0	-438,5	
Syysku	5,9	84,0	-181,1	
Lokaku	-0,6	88,0	-61,7	
Marrask	-7,3	89,0	-25,7	
Jouluku	-12,8	89,0	-16,8	
Tiivistyvä kosteus	0	g/m2	OK	
Kuivuva kosteus	-2,857	g/m2		
Yht	-2,857	g/m2	eli rakenne kuivuu	

Tammikuu	di	kti*10 <sup>^</sup>	ri*10 <sup>^9</sup>	ri /tk	Dpi	P	pk	Dt	t
	[mm]	kg/msPa	[m <sup>2</sup> sPa/kg]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[°C]	[°C]
ms	-	-	-	-	-	701	2331	1,712	20,00
Betoni	80	12	6,67	0,325	181,75	519	2030	0,503	18,29
Lämmöneriste	80	105	0,76	0,037	20,77	498	640	17,117	17,78
Tiili	130	42	3,10	0,151	84,38	414	553	0,67	0,67
	0	1,00	0,00	0,000	0,00	414	553	1,987	-1,32
Polystyreeni EPS	50	6	8,33	0,406	227,18	187	201	0,000	-1,32
Verkotuslaasti	4	5,02	0,80	0,039	21,72	165	200	13,046	-14,37
Pinnointe	3	3	0,8696	0,0424	23,71	141	199	0,061	-14,43
mtu	-	-	-	-	-	141	192	0,046	-14,47
								0,128	-14,90

Sri = 20,524 \*10<sup>^9</sup> m<sup>2</sup>sPa/kg

Ulkoilman lämpötila

31	päivää
-14,9	°C
85,0	%

" suhteellinen kosteus

" vesihöyryn osapaine kyllästystilassa

166,0 N/m2

" vesihöyryn osapaine

141,1 N/m2

" vesihöyrypitoisuus max

1,39 g/m3

" vesihöyrypitoisuus

1,18 g/m3

Sisäilman lämpötila

20 °C

" vesihöyrypitoisuuden lisä

4 g/m3

" suhteellinen kosteus

30,0 %

" vesihöyryn osapaine

701 Pa

" vesihöyryn osapaine kyllästystilassa

2338 Pa

Paineiden erotus p sisä-p ulko

560 Pa

Lämpötilojen erotus

34,9 °C

gkond = -9E-09 kg/m2s

gkond = -25,25 g/m2Kk

Summa -9E-09 kg/m2s



\*\*\*\*\*

14:32

PAGE 1

Gravitational Constant (g) = 9814.6      MM /SEC /SEC

seina3

\*\*\*\*\*  
 MicasPlus Rev 4.3.0.12 JUN 05,1995 14:32  
 Analysis No.3 THIN SHELL PAGE 2

## \*\*\* Material Property Tables \*\*\*

Name/No.	Table Data	
UNKNOWN	Material Type	= ISOTROPIC
1	Modulus of Elasticity (E)	= 199946.4063 N/mm <sup>2</sup> .
	Poisson's Ratio (v)	= 0.3
	Shear Modulus (G)	= 77220.6797 N/mm <sup>2</sup> .
	Alpha	= 0.0
	Weight Density	= 0.0001 N/mm <sup>3</sup> .
PINTA	Material Type	= ISOTROPIC
2	Modulus of Elasticity (E)	= 600.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Poisson's Ratio (v)	= 0.45
	Shear Modulus (G)	= 200.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Alpha	= 1.0E-05
	Reference Temperature	= 20.0
	Weight Density	= 0.0001 N/mm <sup>3</sup> .
LIIMA	Material Type	= ISOTROPIC
3	Modulus of Elasticity (E)	= 5000.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Poisson's Ratio (v)	= 0.45
	Shear Modulus (G)	= 1500.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Alpha	= 1.0E-05
	Reference Temperature	= 20.0
	Weight Density	= 0.0001 N/mm <sup>3</sup> .
EPS	Material Type	= ISOTROPIC
4	Modulus of Elasticity (E)	= 2.3 N/mm <sup>2</sup> .
	Poisson's Ratio (v)	= 0.45
	Shear Modulus (G)	= 1.1 N/mm <sup>2</sup> .
	Alpha	= 0.0001
	Reference Temperature	= 20.0
	Weight Density	= 0.0001 N/mm <sup>3</sup> .
BETONI	Material Type	= ISOTROPIC
5	Modulus of Elasticity (E)	= 27000.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Poisson's Ratio (v)	= 0.3
	Shear Modulus (G)	= 8200.0 N/mm <sup>2</sup> .
	Alpha	= 1.2E-05
	Reference Temperature	= 20.0
	Mass Density	= 0.0 N-s <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup> .



\*\*\*\*\*

seina3

\*\*\*\*\*

MicasPlus Rev 4.3.0.12

JUN 05,1995

14:32

Analysis No.3

THIN SHELL

PAGE 3

## \*\* Beam Element Properties -Standard \*\*

Beam Element Prop. Id/Label	Non-Structural Mass	Area	Ixx	Iyy	Jxy
EPS1					
1	0.000	2000.016	16666.928	0.6667E+07	1406.272
	Perimeter	=	420.00165		
	Projected Width	=	200.00078		
	Projected Depth	=	10.00004		
	Shear Area (x)	=	2000.016	Shear Area (y)	= 2000.016
	Section Table Name	=	/usr2/proj0/rak/seina		
	Standard Section Name	=	EPS1		
	Shear Center Offsets	x=	-100.000	y=	0.000
LIIMA					
2	0.000	800.006	1066.683	0.2667E+07	36.001
	Perimeter	=	408.00159		
	Projected Width	=	200.00078		
	Projected Depth	=	4.00002		
	Shear Area (x)	=	800.006	Shear Area (y)	= 800.006
	Section Table Name	=	/usr2/proj0/rak/seina		
	Standard Section Name	=	LIIMA		
	Shear Center Offsets	x=	-100.000	y=	0.000
EPS2					
3	0.000	40000.313	0.1333E+09	0.1333E+09	0.2250E+09
	Perimeter	=	800.00311		
	Projected Width	=	200.00078		
	Projected Depth	=	200.00078		
	Shear Area (x)	=	40000.313	Shear Area (y)	= 40000.313
	Section Table Name	=	/usr2/proj0/rak/seina		
	Standard Section Name	=	EPS2		
	Shear Center Offsets	x=	-100.000	y=	0.000
PINTA2					
4	0.000	600.005	450.007	0.2000E+07	11.391
	Perimeter	=	406.00159		
	Projected Width	=	200.00078		
	Projected Depth	=	3.00001		
	Shear Area (x)	=	600.005	Shear Area (y)	= 600.005
	Section Table Name	=	/usr2/proj0/rak/seina		
	Standard Section Name	=	PINTA2		
	Shear Center Offsets	x=	-100.000	y=	0.000

seina3

MicasPlus Rev 4.3.0.12 JUN 05,1995 14:32  
Analysis No.3 THIN SHELL PAGE 4

\*\* Beam Element Properties -Standard \*\*

Beam Element	Non-Structural				
Prop. Id/Label	Mass	Area	Ixx	Iyy	Jxy
POHJA					
5	0.000	12000.094	0.3600E+07	0.4000E+08	0.1823E+07
Perimeter	=	520.00201			
Projected Width	=	200.00078			
Projected Depth	=	60.00023			
Shear Area (x)	=	12000.094	Shear Area (y)	=	12000.094
Section Table Name	=	/usr2/proj0/rak/seina			
Standard Section Name	=	POHJA			
Shear Center Offsets	x=	-100.000	y=	0.000	





# AS. OY ULAPPASAARENTIE 4, H:KI KIINNITYSTULPPA (ERIKOISKIINNIKKEET)

MK 1:5

ISORA EPS-LEVY 50 mm  
PALOSUOJATTU EPS-LAATU

PINTARAPPAUS 6-9 mm  
DISPOTERM 609P  
ALKALISUOJATTU LASIKUITU-  
LUJITEVERKKO

ERISTELEVYJEN LIIMAUUS  
OHJEEN MUKAISESTI  
LIIMA DISPOTERM 609P

KIINNITYSTULPPA  $\varnothing 12$  mm  
VOIDAAN ULOTTA A KANTAVAAN  
BETONISEINÄÄN ASTI  
MÄÄRÄ ~ 1 KPL/ m<sup>2</sup>

SOKKELILISTA MEK. KIINNITYS

SIPOREX-  
SEINÄRAKENNE  
200 mm

BETONI-  
SEINÄ  
150 mm

ISORA OY

PL 48  
38201 VAMMALA  
Puh. (932)5161  
Fax: (932)516 9452

DET 002

27.03.1995

JÄRJESTELMÄ  
SERTIFIKAATIN 93/4  
MUKAINEN



# AS. OY ULAPPASAARENTIE 4, H:KI LIITOS KATTOON

MK 1:5

KATOLTA LÄHTEVÄ SUOJAPELTI  
HÖYRYNSULKUNAUHA  
TIIVISTYS  
SUOJAPELTI

ISORA EPS-LEVY 50 mm  
PALOSUOJATTU EPS-LAATU

MEKAANISET KIINNIKKEET  
~5 kpl/m<sup>2</sup>

PINTARAPPAUS 6-9 mm  
DISPOTERM 609P  
ALKALISUOJATTU LASIKUITU-  
LUJITEVERKKO

ERISTELEVYJEN LIIMAUS  
OHJEEN MUKAISESTI  
LIIMA DISPOTERM 609P

VANHA  
SEINÄRAKENNE

ISORA OY

PL 48  
38201 VAMMALA  
Puh. (932)5161  
Fax: (932)516 9452

DET 003

27.03.1995

JÄRJESTELMA  
SERTIFIKAATIN 93/4  
MUKAINEN

**Laaturaportti**Työvaihe: Ennen varsinaisen työn aloittamista

Ennen työn aloittamista

Työ toteutunut /

— Julkisivupinnan suoruus ja ehjyys, mittapoikkeamien huomiointi, kulmien ehjyys

**Tarvittavat toimenpiteet:**

Kuntotutkimus ja paikan päällä käynti. Pinnan ollessa vino (>> yli 10 mm) laastitäytöt ( => jälkihoito ja kuivumisaika ), irtonaisen rappauksen tms. poisto, vaurioituneiden saumarakenteiden ja läpi tulevien halkeamien paikkaaminen

**Työpaikalla****Varmista työpaikalla**

- ☐ — Pinnan puhtaus ja käsittely..... Poista lika, pöly ja irtonainen aines; rappaus, maali. Pinnan ja rappauspaikkausten oltava kuivat
- ☐ — Työnaikainen vedenpoisto..... Tee tarvittaessa väliaikaiset rännit ja räystäät tms.
- ☐ — Telineiden suojaus ja tarkastus..... Tee turvallisuustarkastus. Telineet seinästä 30...40 cm. Telineissä huputus
- ☐ — Rakenteiden suojaus..... Suojaa ikkunat, parvekkeet ja ovet
- ☐ — Materiaalien varastointi..... Varaa lämmin tila tarvikkeille > + 5 °C.  
Suojaa materiaalit

Tarkastettu \_\_\_\_/\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa



**Laaturaportti**Työvaihe: Sokkelistan ja eristeiden asennus

Talo \_\_\_\_\_

Ennen työn aloittamista

Työ toteutunut /

Lämpötila vähintään + 5 °C

Laastin levityksessä ei alumiinisia työkaluja

Tarvittavat toimenpiteet:

Säännusteiden seuranta, hallan vaaran huomioiminen, pinnan (telineiden) suojaaminen

**Työpaikalla****Varmista työpaikalla**

- ☐ — Sokkelistojen asennus..... Jätä sokkelistojen välille n. 3 mm rako muovivälikkeellä. Kiinnitä listojen päistä, muuten noin 3 kpl/jm. Tarkista suoruus vesivaa'alla. Listan reunan ja epätasaisen julkisivun väliset kolot täytetään laastilla.
- ☐ — Kiinnityslaasti ..... Sekoita etukäteen, tasaantumisaika n. 10...15 min. Levitä laasti, levyn reunoille yhtenäisenä "makkarana" ja keskelle pisteittäin. Kiinnityslaastia ei saa jäädä levyn saumoihin eikä reunoihin, poista mahdolliset purseet.
- ☐ — Levyn asennus..... Tarkista levyn suoruus ja ponttien suunta, kovera puoli seinää kohti. Paina levyt lastalla/käsin seinäpintaa vasten. Levyjen liitoskohtiin ei saa jäädä avointa saumaa tai rakoa. Täytä tarvittaessa avoimet saumat ja raot esim. polyuretaanivaahdolla, ei laastilla. Limitä levyt, limitys puolet eristeen pituudesta, julkisivun nurkissa (sormi)limitys, aukoissa yms. ulkonemissa aukon ja eristeen saumat eivät saa osua kohdakkain. Tarkista eristetyt pinnan suoruus pitkällä oikolaudalla. Asenna vesipellin alle tiivistenauha, seinän liittymiin tiiviste- massa/nauha ennen levyn asentamista. Räystäässä eristeen päälle eristenauha vaakatasoon ja tiivistemassaa. Varastoi levyjä varjoisassa paikassa, poissa auringonpaisteesta

Tarkastettu \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa

Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy

Liite /

**Laaturaportti**Työvaihe: Kiinnikkeet, vahvisteverkko ja laasti

Talo \_\_\_\_\_

Ennen työn aloittamista

Työ toteutunut \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Lämpötila vähintään + 5 °C. Lämmöneristeiden asennuksesta on kulunut vähintään 1 vrk, jolloin kiinnityslaasti on kovettunut.

Tarvittavat toimenpiteet:

Sääennusteiden seuranta, hallan vaaran huomioiminen, pinnan (telineiden) suojaaminen

**Työpaikalla**

Varmista työpaikalla

- ☐— Kiinnikkeiden määrä 6...8 kpl/m<sup>2</sup>..... Kiinnikkeen pää tulee samaan tasoon eristeiden kanssa. Pora ja lyö kiinnikkeitä eristelevyn kulmiin ja keskelle. Tasaa laastilla levyn saumojen epätasaisuudet ja kiinnikkeiden kohdat.
- ☐— Ikkunan ja kulmien vahvisteverkot..... Levitä laasti ja paina ikkuna-aukon, ovien yms. nurkkakohtiin vahvisteverkko (kulma 45°, koko 200·300 mm<sup>2</sup>). Levitä laasti pinnan kaikkiin kulmiin ja paina verkot ja mahdolliset kulmalistat laastiin.
- ☐— Pinnan vahvisteverkko..... Levitä laasti ruiskulla/käsin, ruiskutusetäisyys 30...50 mm. Suutin suorassa kulmassa seinään nähden. Paina verkko laastiin, laastikerroksen puoliväliin, limitä verkkoa väh. 100 mm. Peitä laastilla, joko heti tai 3...4 tunnin kuluttua (materiaalivalmistajasta riippuen), tasaa pinta pitkällä teräs- tai muovilastalla. Laastin kokonaispaksuus 3...6 mm, Dispotharm 6...9 mm. Eri materiaalien liitoskohtaan erillinen vahvisteverkko.
- ☐— Pinnan panssariverkko..... Paina verkko laastiin. Limitystä ei tehdä. Pääle verkko, limitys ja laastit normaalisti. Panssariverkon asemesta voidaan käyttää kaksinkertaista verkkoa, jolloin limitys vain pintaverkossa.

Tarkastettu \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa



Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy

Liite /

**Laaturaportti**Työvaihe: Pintarappaus ja ikkunadetaljit

Talo \_\_\_\_\_

Ennen työn aloittamista

Työ toteutunut /

Lämpötila vähintään + 5 °C, suositeltava lämpötila + 10...22 °C

Verkkolaasti kuivunut 1...4 vrk

Tarvittavat toimenpiteet:

Sääennusteiden seuranta, valmis pinta ei saa altistua suoralle auringonpaisteelle, kovalle tuulelle eikä sateelle, suojaus tarvittaessa, käytännössä kesäaikaan **TELNEIDEN HUPUTUS**

**Työpaikalla**

Varmista työpaikalla

☐ — Pohjustusaineen levitys.....

Tarve materiaalivalmistajasta riippuen. Huomioi kuivumisaika ennen pintarappausta

☐ — Pintarappaus.....

Koko pinta rapattava kerralla (ei työsaumoja). Sama rappaja koko ajan. Rappausletkujen osumista valmiiseen pintaan varottava. Kerrospaksuus 2...3 mm, tasainen vahvuus. Hierrettäessä sama tekijä hiertää (muovi/ teräs) koko pinnan, laajalla pinnalla sama ryhmä.

☐ — Ikkuna ja räystäsdetaljit.....

Rappaus viilletään varovasti irti seinärakenteista ja ikkuna- ja oviliittymistä. Tiivistys saumaussmassalla.

Tarkastettu \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa

Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy

Liite /

**Laaturaportti**Työvaihe: Sokkeli ja parvekeliittymät

Talo \_\_\_\_\_

Ennen työn aloittamista

Työ toteutunut \_\_\_\_\_ /

Lämpötila vähintään + 5 °C

Tarvittavat toimenpiteet:

Säännusteiden seuranta, märkä pinta ei saa altistua suoralle auringonpaisteelle eikä sateelle

**Työpaikalla****Varmista työpaikalla**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> — Sokkeli.....                         | Suulakepuristettu EPS-levy, tuo vahvisteverkko n. 200 mm levyn päälle.   |
| <input type="checkbox"/> — Vedeneristyskäsittely sokkeliin..... | Sivele verkkolaastin kuivumisen jälkeen pintaan vedeneristysemlusio.   |
| <input type="checkbox"/> — Sokkelin liittyminen maahan .....    | Iskunkestävyyden parantamiseksi betoninen reunakivi (arkkitehti).  |
| <input type="checkbox"/> — Parveke.....                         | Alaosa n.500 mm suulakepuristettua XPS-levyä, käsittele eristeen parvekkeen lattiapintaa vasten oleva reunapinta saumaussmassalla. Iskunkestävyyden parantaminen sokkelilla, tiivistys saumaussmassalla. Tai sokkelista (h <sub>lattiasta</sub> 150 mm) ja suojapelti. Pelti kiinnikkeillä parvekkeeseen, rappausliittymä (ura) eristelevyyn |
| <input type="checkbox"/> — Pintarappaus.....                    | Kerrospaksuus 2...3 mm, tasainen vahvuus koko pinnalla   |

Tarkastettu \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa



**Huoltoraportti**

Talo \_\_\_\_\_

Työ toteutunut /

Julkisivurakenteen kunnon seuranta ja huolto tulee tehdä talven pakkaskauden jälkeen, vuorokautisen lämpötilan ollessa + 3 ... 5 °C.

**Tarvittavat toimenpiteet:**

Mittanauha visuaalisen tarkastelun apuna. Vauriot korjataan alkuperäisillä tuotteilla materiaalien yhteensopivuuden varmistamiseksi

**Tarkistettavat kohteet**

<input type="checkbox"/> — Ikkuna- ja oviliittymät ja kulmakohdat.....	Halkeamien ja mahdollisen vaurion syyn etsintä, ( materiaalivaurio, kulmaverkon puute, veden pääsy rakenteen sisään) Ikkuna- ja räystäspellitysten liitosten saumausmassan tai -nauhan tiiveys ja kunto
<input type="checkbox"/> — Räystäät, rännit ja syöksytorvet.....	Tiiveyden ja veden poisjohtumisen tarkastus
<input type="checkbox"/> — Sokkeli ja maanpäällinen kerros .....	Rakenteen pinnan vauriot iskuista ja kolhuista ja pinnan kunto vaurioiden ympärillä ( lohkeamat, pinnan kuoriutuminen )
<input type="checkbox"/> — Rakenteen yläosat ja kulmat.....	Maali- tai rappauspinnan kunto, pinnan lohkeilun ja irtonaisen aineksen etsiminen
<input type="checkbox"/> — Pintarappaus tai maalaus.....	Pinnan likaisuus

**Tarvittavat toimenpiteet**

Kohde / toimenpide	Ei toimenpiteitä	1...2 vuoden kuluessa	3...5 vuoden kuluessa
Pinna pesu			
Pinnan maalaus			
Pinnan ( 1 krs ) antigraffit käsittely			
Paikkakorjaukset			
Räystäsrakenteet, vesipellitys, syöksytorvet			

Tarkastettu \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Huomautettavaa

# EPS-levyohutrappauksen työmestan vastaanottokatselmus

Työmaa : \_\_\_\_\_

aika: \_\_\_\_\_

**LUOVUTTAVA TYÖSUORITUS :** ☐ eristelevyn kiinnitys / ☐ ensimmäisen laastikerroksen levitys

**VASTAANOTTAVA TYÖSUORITUS :** ☐ 1. tai ☐ 2. verkkolaastikerroksen levitys

**Katselmuksen sijainti ja laajuus :** \_\_\_\_\_

**Osallistujat :**

Katselmuksen kohteita:

- ☐ eristelevyn saumat ja kiinnikkeet tasoitettu
- ☐ eristelevyissä pysty- ja vaakalimitys aukkojen liittymissä ja rakenteen kulmissa
- ☐ rakenteen kulma leikattu suoraksi (tai mukailemaan vanhaa linjaa)
- ☐ eristelevyissä (sormi)limitys julkisivun nurkissa
- ☐ lasikuituverkko on yhtenäinen, limitetty kulmaverkkojen kanssa
- ☐ lasikuituverkko on aukkojen ja liittymien esim, parvekelaatan kulmissa 45° kulmassa
- ☐ sokkelilistan liittymä (alaosa) seinäpintaan tasoitettu
- ☐ liittymädetaljit; veden pääsy rakenteeseen estetään
- ☐ ikkunat, ovet ja parvekkeet suojattu

## HAVAITUT PUUTTEET JA SOVITUT KORJAUSTOIMENPITEET

**Muistiin kirjasi:** \_\_\_\_\_

**JAKELU:** osallistujat

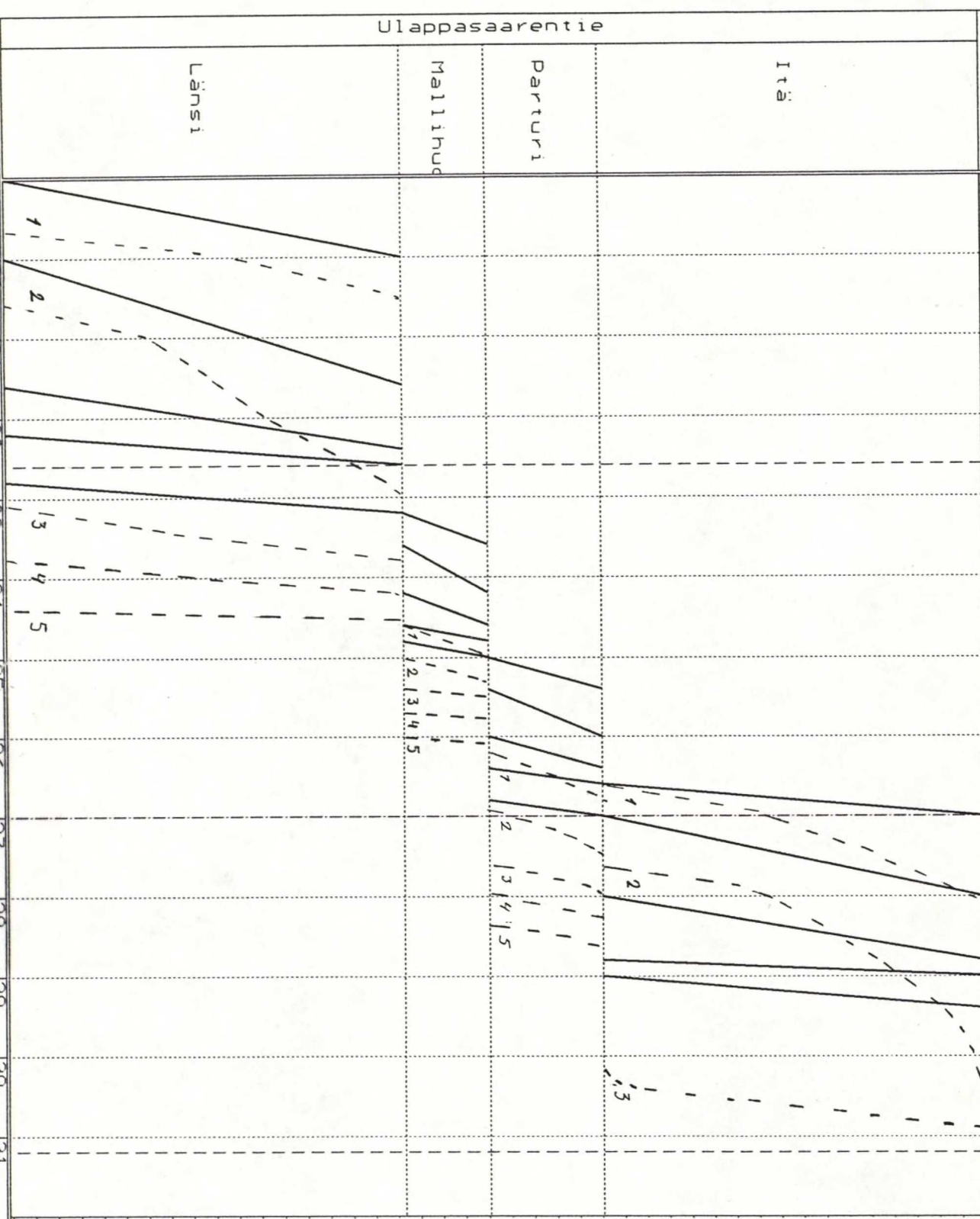


Ulappasaarentie 4

Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
5	6	7	8

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

- Ko Selite
- 1 Telineet+paik
  - 2 EPS
  - 3 Verkkolaasti
  - 4 Ohutrapaus
  - 5 Maalaus



Ulappasaarentie

Itä

Parturi

Mallihuone

Länsi

**Rak.tsto A. Puolimatka Oy**

Tarkennettu jälkilaskentaraportti

**EPS-ohutrappaus asuinkerrostalossa**

Kohdetiedot: Asuinkerrostalo, päätyjen lisäeristäminen

Kirjauksen kohde: As. Oy Ulappasaarentie 4, Helsinki

Suoritus aika: toukokuu (viikko 19)...elokuu (viikko 31)

Alkutilanne: Siporex-betoni ulkoseinärakenne

Lopputilanne: EPS-ohutrappausjärjestelmällä verhous, 50 mm eristepaksuus

Kirjauksen sisältö: Työvaiheiden työ ja materiaalienekit

Työkokonaisuus:

telinetyöt

(pinnan pohjatyöt)

Eristelevyjen kiinnitys

Vahvisteverkon ja -laastin levitys

Ikkuna- ja ovidetaljien teko

Pinnan ohutrappaus ja maalaus

telinetyöt

Työryhmä: 4 R(A)M

Työmenekki: T4 on noin 2.6 tth/m<sup>2</sup>T3 on 2.3 tth/m<sup>2</sup> ilman pellitystä

Olosuhdekuvaus: Lämmin, ajoittain jopa liian lämmintä

Ammattitaito ja kokemus: Järjestelmän asennustyöstä ei ole kokemusta, muuraustöistä on

Materiaalikustannus: 186 mk/m<sup>2</sup>



Materiaalimenekit:	teoreettinen	todellinen	hukka %
Kiinnityslaasti	2...4 kg/m <sup>2</sup>	2.3 kg/m <sup>2</sup>	Yleisesti materiaalien hukka 2...5 %:a
Eristelevy	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
Kiinnikkeet	5...6 kpl/m <sup>2</sup>	5...6 kpl/m <sup>2</sup>	
Vahvisteverkko	1.05 m/m	1.05 m/m	
Verkkolaasti	6...9 kg/m <sup>2</sup>	6.5 kg/m <sup>2</sup>	
Ohutrappaus	1.8 kg/m <sup>2</sup>	2.7...3.3 kg/m <sup>2</sup>	
Maali	0.4...0.6 kg/m <sup>2</sup>	0.3 kg/m <sup>2</sup>	

#### Poikkeamien syitä:

Matalissa päädyissä työmenekkeihin vaikuttaa selvästi konevauriot. Pienissä, alle 100m<sup>2</sup> ja matalissa 2 kerrosta. 4 RAM on maksimityöryhmä yhtä rappausruiskusarjaa kohden. Kokonaistyömenekkiä nostivat erityisesti pitkän kiinnikkeen kiinnitys ja ikkuna- ja ovismyygien eristeen asennus ja rappaus sekä eristetyn seinän liittymädetaljin työläys eristämättömään seinään.

Tärkeimpiä työ- ja materiaalimenekkiin ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä EPS-ohutrappausjärjestelmällä ovat vanhan pinnan purku- ja paikkaustarve ja irtonaisen aineksen määrä, seinäpintojen aukkojen määrä ja tasaisuus sekä pintojen muoto ja koristeet, seinäpintojen mittatarkkuus, vuodenaika ja työryhmän ammattitaito ja harjaantuneisuus sekä kohteen laajuus, kerrosten lukumäärä ja seinäpintojen koko sekä rappauspinnan käsittely, kuten hierto.